

*für
Kunze* *Berlin*

NYLON

und das Nahtmaterialproblem
in der Chirurgie

Edith Schirmer

m 35751

Aus der III. Chirurgischen Universitäts-Klinik Berlin
im Städtischen Krankenhaus Moabit
Leiter der Klinik: Prof. Dr. med. Erwin Gohrbandt

NYLON

und das Nahtmaterialproblem in der Chirurgie

Eine neue synthetische Faser als Naht- und
Unterbindungsstoff

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
an der Humboldt-Universität zu Berlin

vorgelegt von

Edith Schirmer
aus Berlin

Prom.: 19.2.51



Spezialbetrieb für Dissertationsdruck von Robert Noske in Borna-Leipzig

1 9 5 0

Gedruckt mit Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Humboldt-Universität Berlin

Dekan: Professor Dr. Theodor Brugsch
Referent: Professor Dr. Erwin Gohrbandt

Disposition

	Seite
Einführung	5
I. Die Catgutfrage	7
a) Die Catgutherstellung	8
b) Sterilisationsmethoden	9
c) Wundheilung und Catgutresorption	12
d) Was wissen wir von einer Catgutaphylaxie?	14
e) Catguts Vorzüge und Nachteile in praxi	17
II. Nahtstoff Seide	20
III. Nylon, ein Polyamid.	
a) Kurzer Überblick	23
b) Entwicklung und Chemie der Polyamide	24
c) Technologie der Nylonherstellung	27
d) Eigenschaften der Nylonfaser	28
1. Zugfestigkeit	28
2. Wasserabsorption der Nylonfaser	29
3. Elastizität, Dehnfähigkeit	31
4. Widerstandsfähigkeit gegen Wärme und Kälte; verwandte Eigenschaften	33
5. Das Einlaufen	33
6. Abnutzungswiderstand	34
7. Chemische Eigenschaften	34
8. Widerstandsfähigkeit gegen Mikroorganismen, Pilze, Fer- mente und körpereigene Flüssigkeiten	34
IV. Tierexperimentelle Untersuchungen mit Nylon als Naht- und Unterbindungsmaterial	36
V. Die chirurgische Anwendung Nylons und ihre Ergebnisse	42
a) Beobachtungen während der Operation	45
b) Postoperative Betrachtungen	48
Zusammenfassung	51
Literaturverzeichnis	53

Einführung.

Das Nahtmaterialproblem ist so alt wie die Chirurgie selbst. Dennoch können wir es heute, nach fast 2000 Jahren, noch immer nicht als gelöst betrachten. Im Gegenteil: Seit der ausführlichen Beschreibung der „Seidetechnik“ von W. Halsted 1913 ist es nicht ruhig geworden zwischen den Anhängern der resorbierbaren Nähte und denen der nichtresorbierbaren Nähte. Die chirurgische Literatur ist angefüllt mit Artikeln und Referaten über die verschiedenen Arten von Nahtmaterial, und in oft recht erbitterten Polemiken werden die relativen Vor- und Nachteile der einzelnen Materialien gegeneinander ausgespielt.

Der schärfste Kampf wurde um das Privileg von Catgut bzw. Seide geführt, nachdem sich andere Nahtstoffe, wie vor allem Metalldrähte, Leinen- und Baumwollfäden, Silkworm usw. nur in beschränktem Maße und mit Vorbehalt behaupten konnten. Dieser Kampf ist bis heute keinesfalls entschieden; vielmehr ist es zu einem Kompromiß gekommen, da beiden Nahtfäden noch recht beachtliche Mängel anhaften. Man ist jedoch keineswegs geneigt, es bei diesem Kompromiß zu belassen. Deutsche und ausländische Ärzte und Forscher sind unermüdlich auf der Suche nach neuen, besseren Nahtstoffen sowie nach Verbesserungsmöglichkeiten der vorhandenen Nähfäden, um der Lösung des Problems näherzukommen.

Solange jedoch kein ideales Nahtmaterial gefunden ist, wird sowohl die Resorbierbarkeit des Catguts als auch die geringere Gewebsreaktion nichtresorbierbarer Nähte, vornehmlich Seide, ihre Vertreter haben.

Was verlangt aber der Chirurg von einem idealen Nahtmaterial? Die Antwort auf diese Frage läßt sich in folgenden Punkten definieren:

1. Geringe Gewebsreaktion,
2. große Zug- und Knüpfbarkeit,
3. geringe Quellungstendenz,
4. glatte Oberfläche,
5. große Elastizität,
6. konstante Gleichheit des Fadens im Durchmesser,
7. große Resistenz gegenüber wiederholtem Sterilisieren,
8. leichte Handhabung und einwandfreie Knotensicherheit.

Die vorliegende Arbeit, der ausgedehnte amerikanische und schweizerische Tierexperimente sowie chirurgisch-klinische Erfahrungen mit Nylon aus der 3. Chirurgischen Universitätsklinik Bern zugrunde liegen, beschäftigt sich mit einem Vergleich der heute gebräuchlichsten Nahtstoffe Catgut und Seide einerseits und des neuen nichtresorbierbaren, synthetischen Fasermaterial (Nylon) andererseits; ferner mit der Feststellung, inwieweit Nylon den obengenannten acht an ein ideales Nahtmaterial gestellten Forderungen entspricht. Zur besseren Erläuterung der Problemstellung in der Nahtmaterialfrage soll zunächst sowohl die Catgutfrage als auch das Thema „Seide“ in großen Zügen behandelt werden.

I. Die Catgutfrage.

Über den Gebrauch animalischer Nahtfäden wird bereits von Galenus (130 n. Chr.) berichtet. Trotz des Vorzuges der Resorbierbarkeit, der auch den Alten nicht unbekannt war, konnten sich die Darmsaiten in der Reihe all der anderen gebräuchlichen Nähstoffe, wie Pflanzenfasern, Frauen- und Pferdehaar, Seide, Lederstreifen, Golddrähte usw. keine hervorragende Stellung erwerben. Der Grund hierfür war einfach der, daß die unvermeidliche Wundinfektion es gegenstandslos machte, ob resorbierbares oder nicht resorbierbares Material verwandt wurde. Erst als die Einführung der Aseptik es erlaubte, Wunden ohne Risiko zu schließen und die Naht im eigentlichen und wahren Sinne zur Anwendung kam, gewann die Resorbierbarkeit animalischer Nahtfäden ihre große Bedeutung.

Als Sir J. Lister 1869 eine beträchtliche Wundstörung durch eine 10 Monate liegende Seidenligatur (Bildung eines trübserösen Ergusses an einem operierten Aneurysma) erlebte, deren Ursache er in der mechanischen Reizung durch den nichtresorbierbaren Faden sah, gab er den Gebrauch von Seide ganz auf und widmete den tierischen Nahtstoffen wegen ihrer Resorbierbarkeit sein besonderes Interesse. Er hat das Verdienst, mit der Benutzung des Catguts den Gebrauch von Darmsaiten in die Chirurgie eingeführt zu haben, die zum Zwecke der Antisepsis einen besonderen Präparationsprozeß durchlaufen müssen.

Lister verwandte zunächst tatsächlich Katzendärme, wie der Name Catgut aussagt, der sich erstaunlicherweise bis heute erhalten hat, obwohl Lister selbst, und später auch andere, feststellten, daß Katzendärme viel zu dünn, zu wenig zugfest, zu wenig resorbierbar und damit ungeeignet zum Gebrauch bei größeren chirurgischen Eingriffen waren. Man ging deshalb sehr bald dazu über, Därme anderer Tiere zu erproben. Nachdem sich auch Rinderdärme als ungeeignet erwiesen, bürgerte sich endlich die Verwendung von Hammel- und Ziegendärmen ein.

Die anfängliche Präparation des Listerschen Catgut war höchst einfach. Diese bestand in der einige Tage währenden Eintauchung der rohen Darmsaiten in eine Olivenöl-Wasser-Emulsion, die durch den Zusatz von Carbolsäure steril gemacht wurde. Es

stellte sich jedoch heraus, daß das so präparierte Catgut keineswegs zweckdienlich war und in bezug auf eine absolute Sterilität den gestellten Anforderungen nicht genügte. Lister selbst bestandete die zu schnelle Resorbierbarkeit (6 bis 10 Tage) und die starke Gewebsreizung des Carbolcatguts. Robert Koch fand, daß die Carbolsäure, in Öl gelöst, auch nicht die geringste desinfizierende Wirkung hat. Nicht nur die resistenten Milzbrandsporen, sondern selbst die sonst gegen alle feindlichen Einflüsse äußerst empfindlichen Bakterien werden von dem Carbolöl nicht beeinträchtigt. Er bewies, daß die an einem in Carbolöl gelegten Catgutfaden haftenden Bakterien sich als ebenso lange lebensfähig erwiesen wie die an einem lediglich in Öl getauchten Catgutfaden.

Man versuchte der Nachteile des Carbolölcatguts Herr zu werden, indem man das Präparationsverfahren Lister's modifizierte oder durch andere ersetzte. Obwohl die vorgeschlagenen Sterilisationsmethoden äußerst zahlreich sind, gibt es bis heute keine, die eine absolute Keimfreiheit des Catgutfadens erzielt, ohne seine mechanischen Eigenschaften zu beeinträchtigen.

a) Die Catgutherstellung.

Nachdem im vorigen Jahrhundert die Catgutpräparation den einzelnen Krankenanstalten selbst überlassen blieb, übernahmen im 1. Jahrzehnt dieses Jahrhunderts besondere Fabriken die Herstellung von Catgut. Als Rohmaterial dienten frische oder getrocknete Schaf- bzw. Ziegendärme des In- und Auslandmarktes.

Den geschlachteten Tieren wird aus den Innereien das Intestinum vom oberen Jejunum bis zum unteren Ileum herausgeschnitten und sofort vom Mesenterium, von der Serosa und der longitudinalen Muskelschicht befreit. Die nun aus Ringmuskulatur, Submukosa und Mukosa bestehenden Schläuche werden aufgeschnitten, gereinigt, entfettet und „geglättet“, d. h. auf mechanischem Wege von der Ringmuskulatur und der Schleimhautschicht befreit, so daß lediglich die Submukosa mit ihren elastischen und bindegewebigen Anteilen zurückbleibt. Sie durchläuft einen sogenannten „Fermentationsprozeß“ (lauwarmes alkalisches Bad), wird getrocknet, gesalzen, nach Art von Hanfseilen zusammenge- dreht und kommt in diesem außerordentlich haltbaren Zustand als Rohcatgut in den Handel. Den verschiedenen Firmen bleibt dann der 2. Teil der Catgutherstellung, die Sterilisation, überlassen.

b) Sterilisationsmethoden.

Überblicken wir die bis jetzt vorgeschlagenen und gebrauchten Methoden der Catgutsterilisation, so können wir dieselben in drei Gruppen unterteilen:

1. die antiseptischen Methoden,
2. die aseptischen Methoden und
3. die gemischten Methoden.

Bei den antiseptischen Methoden, unter denen sich die ältesten Sterilisationsverfahren befinden, läßt man chemische, energisch bakterizid wirkende Substanzen für kürzere oder längere Zeit auf den Catgutfaden einwirken.

Die erste Methode dieser Art war die schon erwähnte von Lister mit Carbolöl. Mac Evans härtete Listers Carbolölcatgut nachträglich mit einer 5⁰/₁₀₀-Chromsäurelösung. Zwar erreichte er damit eine größere Resorptionsbreite des Catguts, nicht aber eine absolute Sterilität. Sterilisation mit so konzentrierter Chromsäurelösung, die eine absolute Keimfreiheit gewährleistet, verlängert jedoch die Resorptionsdauer so beträchtlich, daß Chromcatgut fast einem unlöslichen Fremdkörper gleichkommt, der auch nach 1 1/2 Jahren noch im Gewebe nachweisbar ist (Mehner t).

Mehrere bekannte Chirurgen, unter ihnen v. Bergmann, Kümmel, Brunner und Minervini, gingen zur Sterilisation mit alkoholischer Sublimatlösung über. Eine Reihe von Jahren wurde auch Formalin — oder besser: Formaldehyd — nach Hofmeisters Angaben benutzt, doch wurden beide Methoden wieder verlassen, nachdem bewiesen war, daß erstere zu keiner absoluten Keimfreiheit führten, während Sublimat die Zugfestigkeit Catguts beträchtlich herabsetzt und zudem einen schädlichen Einfluß auf die Gewebe ausübt.

Die Desinfektion mit Silberverbindungen, die nach Credés Forschungen und klinischen Experimenten zu Beginn dieses Jahrhunderts angewandt wurde, faßte auch auf dem Gebiet der Catgutsterilisation Fuß. Hauptsächlich wurden einfache Silberverbindungen benutzt, wie Nitrate, die als sehr aktiv bekannt waren; ferner Argyrol und Collargol, Komplexverbindungen, deren bakterizide Wirkung nach Marshall und Neave sehr zweifelhaft ist. Obwohl die Silbermethoden längere Zeit von den Chirurgen angewendet wurden, fanden sie bei der später einsetzenden fabrikmäßigen Herstellung nie praktische Bedeutung.

Die von Kocher in die Catgutsterilisation eingeführten ätherischen Öle (Wachholder-, Lavendel- und Eucalyptusöl) hatten gleichfalls wenig Erfolg. Besonders um die Natur und desinfizierende Fähigkeit des Wachholderöls wurde sehr viel gestritten und spätere Forschungen (Brunner) haben ergeben, daß die oft geäußerten Zweifel berechtigt waren.

Die Reihe der Methoden und der dazu verwandten Chemikalien ließe sich noch lange fortsetzen, jedoch ohne zu einem Verfahren zu kommen, das eine wirkliche Sterilität Catguts erzielt. Die Untersuchungen Kochs, Krönigs und Pauls, Minervinis, Brunners und Bullochs haben ergeben, daß keine der angegebenen Chemikalien in den angegebenen Zeiten in der Lage sind, resistente Sporen, besonders des Milzbrand- und Tetanusbazillus, abzutöten.

Eine entscheidende Verbesserung in der Technik der Catgutsterilisation trat erst mit dem bekannten und wichtigen Werk von Claudius (1902) ein, welches sich für die Sterilisation allein durch die einfache Behandlung mit einer wäßrigen Jod-Jodkaliumlösung einsetzte. Zweifellos stellt die Methode von Claudius einen beachtlichen Vorteil für die Catgutsterilisation dar, da die wäßrige Jodlösung — im Gegensatz zur alkoholischen Jodlösung — im hohen Maße keimtötend wirkt und eine starke Durchdringungsfähigkeit besitzt, während gleichzeitig die empfindliche Eiweißkomponente des Catguts bei der von ihm angegebenen Konzentration nur wenig angegriffen wird.

Dieses Verfahren fand viele begeisterte Anhänger, unter ihnen Kuhn (1912), Fürle und Mayr, welch letzterer die Catgutfrage damit für gelöst hielt.

Die Sterilisationsmethode nach Claudius wurde durch Kuhn erweitert. Er behandelte bereits die rohen ungedrehten Darmstreifen mit Lugolscher Lösung und setzte die erst anschließend zusammengedrehten Fäden der von Claudius angegebenen Jodjodkaliumlösung aus. Dadurch erreichte er eine größere Sterilität, besonders im Inneren des Fadens.

Daß diese Sterilität jedoch trotzdem keine absolute war, ergaben die 1930 ausgeführten bakteriologischen Untersuchungen von Knorr, Konrich und Zeißler. Knorr gab nach Prüfung von mehr als 1500 m deutschen Catguts bekannt, daß „mindestens 80 % der untersuchten Proben den amtlich festgelegten Sterilisationsbegriffen nicht entsprachen“ und ein erheblicher Teil davon pathogene Anaerobier, insbesondere die Erreger des Gasbrandes und des malignen Ödems, enthielt.

Diese Mitteilung veranlaßte weitere umfangreiche Untersuchungen, bei denen insgesamt 3394 Catgutpackungen verschiedener Firmen mit zusammen 34 km Fadenlänge auf ihren Keimgehalt geprüft wurden. Unter den Packungen waren Kleinpakungen mit 2 $\frac{1}{2}$ m, Großpackungen mit 25 und 50 m Catgut. Von den Kleinpakungen erwiesen sich insgesamt 54,3 % keimhaltig, von den Großpackungen 80,7 %. Ähnliche Ergebnisse erhielt man auch beim Auslandscatgut: von 8379 Kleinpakungen waren 57,2 % unsteril.

Die Tatsache, daß Gesundheitsschädigungen durch Catgut dennoch recht selten sind, deutet darauf hin, daß die Menge der im Catgut enthaltenen Keime anscheinend gering ist oder daß die Keime durch die Desinfektionsmittel bei der Catgutfabrikation in ihrer Virulenz so geschädigt werden, daß sie im allgemeinen den Abwehrkräften des menschlichen Körpers erliegen.

Die Gefährlichkeit der „pathogenen“ Keimarten ist zwar im Prinzip anzuerkennen, ihre Gefährlichkeit im Catgut speziell kann jedoch bei der Seltenheit von Catgutinfektionen in Wirklichkeit nicht allzu groß sein. Daß die im Catgut in einem kleinen Prozentsatz zu findenden Krankheitserreger im allgemeinen ungefährlich sind, ist nicht eine unbegründete Vermutung, sondern eine durch umfassende Experimente an 600 Versuchstieren bewiesene Tatsache.

L ö h r hat nachgewiesen, daß selbst die allergefährlichsten Keime bzw. ihre Sporen im gesunden Gewebe nur dann anwachsen können, wenn sie im Besitze ihrer spezifischen Toxine sind. Nach Zerstörung der Toxine waren auch die an sich giftigsten Stämme der Tetanus-, Botulinus-, Gasbrand- und malignen Ödembazillen im Körper der für diese Keime sehr empfindlichen Meerschweinchen wirkungslos. Wenn somit die von der Catgutindustrie heute angewandten Desinfektionsmittel vielfach zur Abtötung aller Keime im Catgut nicht ausreichen, so genügen sie doch wohl meistens zur Zerstörung der die etwa überlebenden Keime oder Sporen aktivierenden Toxine.

Da die Behandlung mit Jod unter den angegebenen Desinfizierungsmitteln — trotz mancher Nachteile — die chemische Methode ist, die auf jeden Fall die größten Vorteile in vieler Hinsicht eröffnet, blieb sie die Methode der Wahl und das heute in Deutschland Verwendung findende Catgut ist zu 90 % Jodcatgut, desinfiziert nach den grundlegenden Verfahren von C l a u d i u s K u h n.

Obwohl die aseptischen und erst recht die gemischten Methoden der Catgutsterilisation nur von ganz untergeordneter Bedeutung

sind, soll der Vollständigkeit halber hier noch kurz auf sie eingegangen werden.

Die aseptischen Methoden bedienen sich der durch Luft, indifferente Flüssigkeiten oder durch Dämpfe übertragenen Hitze unter normalem oder erhöhtem Druck. Reverdin und Döderlein arbeiteten mit trockener Hitze, Fowler mit siedendem Alkohol, Brunner mit siedendem Xylol und Krönig mit siedendem Cumol. Eine absolute Sterilität ist mit diesen Methoden nicht zu erreichen. Dies ist leicht erklärlich, da die im Rohdarm vorhandenen Sporen die animalischen Fasern an Widerstandskraft weit übertreffen und durch das Einwirken von physikalischen Agentien, besonders Wärme, erst dann zu Grunde gehen, wenn die Fasern schon verändert und desorganisiert sind.

Der Effekt der gemischten Methoden wird durch das kombinierte oder sukzessive Einwirken von Antiseptica und Wärme erreicht. Hierher gehört das Abkochen mit Sublimatäther nach Molden-Bissel, das Abkochen mit Carbolalkohol nach Saul und das mit Sublimatalkohol nach Schäffler. Das so präparierte Catgut ist auch von den bei den vorigen Gruppen beklagten Übelständen nicht frei, so daß diese recht komplizierten und für Fabrikherstellung ungünstigen Methoden zugunsten der antiseptischen sehr bald wieder verlassen wurden.

c) Wundheilung und Catgutresorption.

Bei der Wundheilung spielen sich im wesentlichen die gleichen Vorgänge ab wie bei einer Entzündung. Aschoff hat sie im Gegensatz zur defensiven Entzündung, als „reparative“ Entzündung bezeichnet. Dementsprechend lassen sich bei der Wundheilung (es soll hier nur von der primären die Rede sein) zwei Stadien unterscheiden:

1. exsudative oder latente Periode.
2. reparative, produktive oder fibroblastische Periode.

Das exsudative oder destruktive Stadium umfaßt hauptsächlich die Lysis der Zell- und Gewebstrümmer und die Aufsaugung der Exsudate. Autolysis und Heterolysis ist die Hauptaufgabe der polymorphkernigen Leukozyten während dieser Periode, die 1 bis 2 Tage währt. Die aufbauenden Veränderungen des produktiven Stadiums werden vorwiegend von histiozytären Elementen und Fibroblasten ausgeführt.

Jedes Nahtmaterial übt auf das umliegende Gewebe einen mehr oder weniger starken Fremdkörperreiz aus. Bei Catgut ist die

Fremdkörperreaktion besonders ausgeprägt und zellreich. Sie dokumentiert sich in starker Ausschüttung von Flüssigkeit und weißen Blutzellen. Mit zunehmender chemischer Durchtränkung des Fadens werden auch die Entzündungserscheinungen intensiver, die exsudative Phase der Wundheilung wird verlängert und somit der gesamte Heilverlauf verzögert.

Bei der heute in Deutschland gebräuchlichsten Catgutart, dem Jodcatgut nach Claudius-Kuhn, kommt es, namentlich durch den Gehalt an freiem Jod, während der ersten Tage zu einer ätzenden Wirkung auf das Gewebe der Umgebung, die, als Abwehrmaßnahme desselben, zu einer Serombildung führt.

Die ersten reaktiven Veränderungen nach Catgutimplantationen sind schon nach wenigen Stunden zu beobachten (Braun). Um den Faden sammeln sich bereits nach 12 bis 24 Stunden die ersten Granulozyten an. Im Verlauf von drei Tagen hat ihre Zahl beträchtlich zugenommen, der Faden wird von einem dichten Wall aus Leukozyten und einzelnen Lymphozyten umgeben. Diese Reaktion in der unmittelbaren Umgebung des Fadens finden wir bei keinem nichtresorbierbaren Nahtmaterial so stark ausgebildet wie bei Catgut. — Vom 5. Tage ab fangen die Makrophagen an die Oberhand zu gewinnen, vom 6. Tage an treten Fibroblasten auf und am 9. Tag ist die Fibrillenbildung in allernächster Nähe des Catgutfadens in vollem Gange.

An dem Catgutfaden beobachtet man während der ersten Tage eine starke Quellung. Am 2. und 3. Tage dringen Leukozyten in die Spalträume und Schrunden des Fadens und bewirken eine Auf-faserung der Fadenoberfläche. Die eigentliche Resorption jedoch beginnt nicht vor dem 4. bis 5. Tage. Von allen Seiten drängen nun die Leukozyten begierig auf den Faden ein. Im Verlauf der folgenden Tage und Wochen kann man beobachten, wie die Faden-substanz immer mehr abnimmt, d. h. durch die Tätigkeit der Leukozyten verflüssigt und verdaut wird.

Die Catgutresorptionszeit ist eine sehr variable Größe. Sie ist abhängig von der sehr individuellen Catgutreaktion der einzelnen Patienten, von den Durchmessern der benutzten Fäden, sowie von Art und Grad der Imprägnierung des verwandten Materials. Sie schwankt zwischen 60 Tagen bei Thermosterilcatgut und 120 bis 180 Tagen bei Jodcatgut. Bei Chromcatgut wird sie unendlich lang, das bedeutet, daß Chromcatgut praktisch unlöslich ist.

Die durch die schrittweise Resorption des Catguts entstehenden Lücken und Spalten werden sofort vom Bindegewebe durchwachsen. Schließlich ist nach vollständiger Resorption die gesamte Cat-

guts substanz vollkommen von Bindegewebe ersetzt. Es ist deshalb zweckmäßig, möglichst dünnes Catgut zu verwenden.

Die Resorption des Catguts beruht auf Hydrolyse. Der Abbau hydrolysierbarer Substanzen geschieht bei parenteraler Einverleibung durch Vermittlung des Leukozytenfermentes Kathepsin (Braun) und der Fermente der Gewebsatmung (Reil). Infolge des örtlichen Absterbens von Zellen werden einmal Fermente frei, zum anderen wird die gesamte Reaktionskinetik geändert. An Ort und Stelle entstehen sehr stark wirkende Substanzen wie Azetylcholin, ferner Abbauprodukte wie Leuzin, Thyrosin, freie Fettsäuren usw. Durch den Zerfall wird örtlich der Stoffwechsel gesteigert und es entstehen saure Stoffe, wie auch bei der normalen Steigerung des Stoffwechsels in abbauender Richtung vorwiegend saure Stoffe gebildet werden. Die normale Gewebspufferung und die Abtransportmöglichkeiten reichen nicht aus, um die sich örtlich stets neubildende Reaktion zu beseitigen. So entsteht die lokale Azidität der Entzündung. Der pH -Wert dieser akuten Entzündungszone liegt zwischen 5,4 und 6,5.

Das in den Leukozyten enthaltene proteolytisch wirkende Ferment, das Kathepsin, hat sein pH -Optimum bei 4,0 bis 5,0, also im sauren Milieu. Für dieses Ferment schafft demnach der Körper durch die Bildung der Entzündungsazidität geradezu ein Wirkungsoptimum. Liegt also der saure Jodcatgutfaden (Jodcatgut, auch „neutrales“ Jodcatgut, reagiert wegen seines Gehaltes an freiem Jod sauer), dessen pH -Wert bei 4,0 liegt, in dem sauren entzündeten Gewebe, das einen pH -Wert von etwa 5,5 hat, so erhöht sich die Azidität um den Faden vorübergehend. Es wird daher ein Gebiet erreicht, bei dem das Kathepsin sein pH -Optimum besitzt. Seine Aufgabe ist die Aktivierung von Wasserstoff, in gleicher Weise wirken auch die bei der Gewebsatmung wirksamen Fermente der Dehydrasen und Hydratasen. Es werden so die Aminosäurekomplexe hydrolytisch gespalten und dadurch der Abbau der Fadeneiweiße allmählich ohne Unterbrechung und im fließenden Vorgang von den primären Abbaustufen (Albumosen) bis hinunter zu den einfachsten Elementen durchgeführt.

d) Was wissen wir von einer Catgutanaphylaxie?

Schon mehrere Jahrzehnte beschäftigt Forscher und Kliniker die Frage, ob und in welchem Umfange Catgut, das als animalische Faser natürlich Eiweiß enthält, im verarbeiteten Zustand so, wie wir es in der Praxis verwenden, anaphylaktogen wirkt. Es sind

zahlreiche entsprechende Tierversuche durchgeführt worden, die zu den widersprechendsten Ergebnissen führten.

Pavrowsky führte an 38 Kaninchen 192 Operationen durch, bei denen der Verschuß von Bauchfell, Muskulatur und Haut lediglich mit Catgut durchgeführt wurde. Die Tiere waren vorher mit Catgutextrakt, Schaf- oder Pferdeserum sensibilisiert worden. Bei keinem Tiere wurden durch die Catgutimplantationen Veränderungen hervorgerufen und Pavrowsky kommt damit zu dem Schluß, daß die sog. Catgutallergie in der menschlichen Pathologie keine Rolle spielen kann. Er läßt jedoch die Möglichkeit offen, daß Catgut durch den Sterilisationsprozeß seine antigene Eigenschaft verliert.

Eine neue Perspektive für die Betrachtung des Catgutallergieproblems eröffnete eine Arbeit von Prigge. Er zeigte, daß sich durch geeignete Substitution die Spezifität der Antigene verändern läßt. So reagieren z. B. die durch Nitrierung und Jodierung von Serumweiß irgendeiner Tierart entstehenden „Xanthoproteine“ und „Jodeiweißkörper“ nicht mehr mit den Antikörpern, welche man durch Immunisierung mit dem unveränderten Eiweiß gewinnt. Sie wirken aber antigen und erzeugen Antikörper, die mit den „Xanthoproteinen“ und „Jodproteinen“ der ganzen Tierreihe, ja sogar mit solchen pflanzlicher Herkunft reagieren. An Stelle der Artspezifität ist also infolge der Substitution eine Chemospezifität getreten. Man hat hieraus schließen wollen, daß die originäre, für die Artspezifität verantwortliche Gruppe im Eiweißmolekül infolge des chemischen Eingriffes zerstört und durch den für die neue Spezifität verantwortlichen Substituenten ersetzt wird.

Aus dieser Mitteilung Prigges übertrug Reil das Wirken einer Chemospezifität auf die Catgutallergie. Demnach könnte durch Jodcatgut eine antigene Reizwirkung eintreten, die aber nicht durch das originäre Art(Hammel)eiweiß bedingt, sondern durch das durch die Bindung an Jod veränderte Jodeiweiß, d. h. chemospezifisch, hervorgerufen wird.

Für einen ähnlichen chemospezifischen Mechanismus bei Chromcatgut tritt der Amerikaner Hinton ein, während von Frugoni und einem so bedeutenden Catgutspezialisten wie B. Braun die Catgutallergie ganz allgemein — auch unter Reils Gesichtspunkten — abgelehnt wird.

Im schroffen Gegensatz dazu stehen die Erfahrungen, die Kraibl, Kesten, Marchesani und Farris in umfangreichen Untersuchungen gewannen.

Kraißl und Kesten haben Meerschweinchen gegen verschiedene Catgutsorten sensibilisiert, indem sie ihnen pulverisiertes Catgut in die Bauchhöhle einführten, Catgutextrakt intraperitoneal, intradermal und intrakardial einspritzten oder Laparatomiewunden mit Catgut nähten. Wenn bei diesen Tieren nach einer gewissen Zeit dasselbe Catgut benutzt wurde, etwa bei einer Bauchnaht, so entstand eine starke örtliche Reaktion, die Resorption der Fäden geschah überschnell und schließlich erfolgte Ruptur der Wunde.

Nach diesen Tierexperimenten wurden 132 Kranke auf Catgutsensibilität geprüft. 15 % der Kranken mit operativer Vorgeschichte, 17,3 % mit allergischer Vorgeschichte reagierten positiv. Bei den Kranken ohne diesbezügliche Anamnese fiel die Reaktion in 2,3 % positiv aus. Ferner reagierten alle 5 Patienten, bei denen eine Wundruptur eintrat, positiv. Die Autoren schlagen deshalb vor, daß alle Kranken mit allergischer oder operativer Anamnese vor einer erneuten Operation auf Catgutsensibilität geprüft werden. Dies geschieht durch intradermale Einspritzungen eines Catgutextraktes.

Sehr beachtenswert sind auch die Ergebnisse des Ophthalmologen Marchesani. Er sensibilisierte eine größere Zahl von Meerschweinchen mit Hammelserum oder Catgutextrakt und injizierte ihnen nach der kritischen Zeitspanne Catgutserum bzw. Hammelserum intravenös und intrakardial. Zahlreiche Tiere erkrankten an anaphylaktischen Erscheinungen. Ein Teil zeigte die typischen Merkmale leichter Anaphylaxie, wie Unruhe, Abgang von Urin und Kot, Krämpfe, ein weiterer Teil verendete im typischen anaphylaktischen Schock.

Lokale Anaphylaxie: Meerschweinchen wurden in gleicher Weise wie oben vorbehandelt. Nach verschieden langer Zeit wurden ihnen, unter Wahrung steriler Verhältnisse, Catgutfäden unter die Haut eingeführt. In verschiedenen Zeitabständen wurden die Hautstücke mit den Catgutfäden exzidiert und histologisch untersucht. Kontrollversuche wurden bei nicht vorbehandelten Tieren angestellt. Bei letzteren bestand die Reaktion darin, daß nach 48 Stunden um den Faden ein Wall von Leukozyten gebildet war. Im umgebenden Gewebe bestand eine leichte Exsudation. Es fand sich etwas Ödemflüssigkeit sowie Leukozyten in spärlicher Anzahl zwischen den Gewebsspalten. Die Stärke der Reaktion wechselte in den einzelnen Fällen innerhalb gewisser Grenzen.

Ganz anders war in der Regel das Bild bei vorbehandelten Tieren. Die Reaktion war bedeutend stärker. Meist war der Leuko-

zytenwall viel breiter; er betrug wiederholt das Mehrfache des Durchmessers bei den Kontrolltieren. Vor allem war jedoch die Reaktion in der Umgebung auffallend. Das Gewebe war viel stärker vom Exsudat durchtränkt, die Bindegewebsfasern waren gequollen, die zelluläre Infiltration setzte sich bis in die Umgebung fort. Die Gefäße waren strotzend mit Blut gefüllt, als besonderes Charakteristikum waren Blutaustritte zu verzeichnen. Es waren die Merkmale einer Entzündung vorhanden, die Rößle und Gerlach als hyperergische beschrieben haben. In einzelnen Fällen ließen sich in der Umgebung kleine Nekroseherde feststellen, die angrenzenden Muskelbündel waren verändert.

Die weitere Verfolgung ergab, daß beim unvorbehandelten Tier die leukozytäre Infiltration nach 96 Stunden beträchtlich zurückgegangen war. Es fanden sich vorwiegend histiozytäre Elemente, die ein junges Granulationsgewebe um den Faden bildeten. Nach 120 Stunden war schon eine deutliche bindegewebige Umwandlung festzustellen. Bei den sensibilisierten Tieren blieb der akute Entzündungszustand viel länger erhalten. Nach 120 Stunden waren noch reichlich Leukozyten vorhanden und vor allem waren noch immer Blutungen nachweisbar. — Die Vorbehandlung mit Hammelserum schien von stärkerer Wirkung zu sein als die mit Catgutextrakt.

Aus diesen Versuchen geht ohne weiteres hervor, daß Catgut im Tierversuch, unter geeigneten Versuchsbedingungen, anaphylaktische Reaktionen auszulösen imstande ist. Hammelserum sensibilisiert für Catgutextrakt und umgekehrt. Welche Bedeutung haben diese Ergebnisse für die menschliche Pathologie? Viele Menschen erhalten heute Seruminjektionen, wobei es sich in der Regel um Hammelserum handelt. Ebenso nähen wir mitunter mehrmals hintereinander mit Catgut. Daß Catgut als Nahtmaterial mitunter nicht befriedigt, ist bekannt. Möglicherweise sind Versager, wie Nachgeben der Catgutnähte und Platzen der Wunden, auch auf lokale anaphylaktische Reaktionen zurückzuführen. Gewebsstücke solcher rupturierten Wunden zeigten eine starke Eosinophilie der entzündlichen Infiltration, die auf eine allergische Reaktion hindeuten könnte.

e) Catguts Vorzüge und Nachteile in praxi.

Der größte, jedoch auch einzige Vorteil Catguts besteht in seiner Resorbierbarkeit (Burke). Dank dieser Fähigkeit ist es bei allen Schleimhautnähten in weiten Kreisen der Chirurgie und Gynäkologie noch immer das Nahtmaterial der Wahl. Namentlich bei Gal-

lenblasen- und Harnblasennähten wird das resorbierbare Catgut mit Vorliebe benutzt, da die früher oder später verschwindenden Fäden keine Einbettung von Konkrementen begünstigen.

Trotz dieses Vorteils begegnet Catgut immer einem gewissen Mißtrauen, das sich neben suspekter Provenienz und Schwierigkeit der Sterilisation besonders auf die Ansicht gründet, daß das Material, in den Körper versenkt, einen guten Nährboden für Keime darstelle. Dabei denkt man weniger an die originären, im Rohdarm enthaltenen Keime — die allgemein relativ gut abgetötet oder doch in ihrer Virulenz sehr geschädigt werden, so daß es nur selten zu einer wahren Catgutinfektion kommt — als vielmehr an die während der Operation in die Wunde eingedrungenen Keime oder an die auf dem Blut- und Lymphwege herangeschafften. Die Serumansammlungen mit Fibrin und Leukozyteninfiltration, die eine Antwort des Gewebes auf den starken Fremdkörperreiz Catguts darstellen, bilden in Verbindung mit den Bestandteilen des Auflösungsprozesses einen reichen Nährboden für Bakterien

Erhöht wird diese Gefahr der Bakterienansiedlung noch durch die starke Quellungstendenz des Fadens, die zur Verkürzung des Fadens und damit zur Drucknekrose führt und mit der Entstehung des nekrotischen Gewebes das Anwachsen etwa vorhandener Keime fördert.

Klinisch dokumentiert sich diese nachteilige Eigenschaft in dem Auftreten schwererer oder leichterer Wundkomplikationen oder den sog. „Späteiterungen“. Nach L a r g e, dessen Beobachtungen sich über drei Jahrzehnte erstrecken, betragen bei Laparatomiewunden die schwereren Wundinfektionen bei Catgut 4,6 % gegenüber 1,2 % bei Seide; die leichteren Wundinfektionen werden bei Catgut mit 2,5 % angegeben, denen 0,3 % bei Seide gegenüberstehen.

Die Zahl der Wundkomplikationen wächst mit der Zahl der versenkten Fäden, insofern dieselben imbibierbar sind. Es nimmt deshalb auch nicht wunder, daß J e n k i n s nach Strumektomien, bei denen ja besonders viel Material zu den zahlreichen Ligaturen im Gewebe versenkt werden muß, noch zu einem weit ungünstigeren Verhältnis zwischen Catgut und Seide kam in bezug auf Wundinfektionen.

Die Resorptionszeit bei Catgut ist alles andere als konstant. Sehr viele chemisch sterilisierte Catgutarten benötigen im Körper mehr Zeit zu ihrer Auflösung, als vom Hersteller angegeben, andere wieder lösen sich bedeutend schneller auf. Die Resorptionszeit wird

stark verkürzt durch das Eintreten einer Wundinfektion, da dann die auflösenden Elemente der Leukozyten besonders zahlreich vertreten sind; ferner durch eine etwa bestehende Überempfindlichkeit der Patienten gegen Catgut bzw. sein Imprägnierungsmittel, etwa Jod.

Die Resorbierbarkeit ist notwendigerweise gekoppelt mit einem progressiven Verlust an Zugfestigkeit. Bei überschneller Resorption hat Catgut schon in den ersten sechs Tagen bis zu 90 % seiner gesamten Zugfestigkeit verloren. Liegen zu dieser Zeit, in der die Wunde wegen des noch fehlenden Narbengewebes die geringste Festigkeit aufweist, derartig in Auflösung begriffene Catgutfäden als Fasiennähte in der Rektusscheide, so genügt oft schon ein Hustenstoß oder die Bauchpresse des Patienten, um die Fäden zum Reißen und die Wunde zum Rupturieren zu bringen. Zwar sehen wir auch nach Seiden- und Zwirnnähten Wundrupturen, jedoch sind dieselben nach Halsted, Kraißl und Howes bei Catgut dreimal häufiger als bei Seide.

Catguts mechanischen Qualitäten sind, im Vergleich zu denen nichtresorbierbarer Stoffe, sehr mäßig. Seine Fäden sind, da es sich ja um tierisches Material handelt, recht ungleich in Durchmesser und Festigkeit.

Wenn man Catgut mit Seide bezüglich Sterilität, Gewebsreiz, Resistenz und Knotensicherheit vergleicht und in Erwägung zieht, daß die Resorption der meisten Catgutsorten nach 4 bis 5 bis 6 Monaten — d. h. wenn schon alle Reparationsprozesse in den Geweben vollendet sind — im Grunde genommen ein sehr geringer, fast überflüssiger Vorteil ist, kommt man zu dem Schluß, daß Catgut nicht unbedingt und systematisch der Seide vorgezogen werden kann. Es findet nur dort berechnete Verwendung, wo — wie etwa bei den Mukosanähten von Harn- und Gallenblase — die Resorption des Nähfadens erst den vollen Erfolg des chirurgischen Eingriffes verbürgt.

II. Nahtstoff Seide.

Seit Lister den Gebrauch von Catgut in die Chirurgie einführte, haben die Klagen über Störungen der Einheilung und Resorption nicht aufgehört. Deshalb bestand schon zu Ende des vorigen Jahrhunderts, vor allem jedoch während der letzten Jahrzehnte, eine deutlich wachsende Tendenz nichtresorbierbares Nahtmaterial für Nähte und Ligaturen zu benutzen. Viele Chirurgen wandten sich teilweise oder ganz vom Catgut ab und der Seide zu.

Als Erster trat Kocher für die Verwendung von Seide ein. Einige Jahre später bekannte sich der bedeutende amerikanische Chirurg William Steward Halsted rückhaltlos zum Gebrauch von Seide, sowohl in aseptischen, als auch in infizierten Wunden. Seine Lehre bewirkte, daß heute nichtresorbierbares Material, Seide, Zwirn und vor allem rostfreier Stahl, in Amerika eine bedeutend größere Rolle spielt als in Deutschland.

Unter den nichtresorbierbaren Stoffen hat sich Seide eine führende Stellung geschaffen, da sie die leichte Handhabung Catguts verbindet mit einer guten Zugfestigkeit, einer geringeren Fremdkörperreaktion und einer leichter und sicherer zu erreichenden Sterilität. Eine $\frac{1}{2}$ stündige Sterilisation im Autoklaven genügt vollkommen, um einen keimfreien Nähfaden zu erhalten. Wiederholtes Sterilisieren, namentlich in kochendem Wasser, vermindert jedoch recht beträchtlich die Reißfestigkeit der Seide. Es ist deshalb die Trockensterilisation vorzuziehen und wiederholtes Sterilisieren möglichst zu vermeiden.

Die Gewebsreaktion der Seide ist weniger ausgeprägt als bei Catgut. Um den implantierten Faden entwickelt sich eine schmale Infiltrationszone mit Leukozyten und Rundzellen, die sich bis zum 8. Tag vergrößert. Um diese Zeit setzt die Fibroblastenbildung ein, die ihr Maximum in der 3. bis 4. Woche hat. Es bildet sich um den Faden ein kleines Granulom, welches aus jungem Bindegewebe besteht und neben Rundzellen fast immer auch Riesenzellen enthält. Bei ganz ungestörter Einheilung tritt schon sehr bald eine eigentliche Vernarbung ein. Der Faden wird nicht nur vom Bindegewebe umwachsen, sondern die jungen Bindegewebsfibrillen durchsetzen das ganze Faserbündel, so daß man von einer dauernden Einheilung sprechen kann.

Wenn das primäre kleine Fadengranulom beim Einwuchern in den Faden auf Keime trifft, finden wir das Auftreten zahlreicher Leukozyten. Ist die Infektion gering, so kann es auch dann noch zu einer ungestörten Einheilung kommen. Finden sich aber zahlreiche virulente Kokken, so tritt eine bakteriell bedingte entzündliche Exsudation auf: es entsteht um den Faden ein kleiner Abszeß, der schließlich zur Fistelbildung und Abstoßung des Fremdkörpers führt.

Zwischen den Vorgängen des ungestörten Einheilens und der mehr oder weniger raschen Ausstoßung eines Fremdkörpers gibt es noch zahlreiche Zwischenstufen. So sehen wir häufig Bilder, die als „chronisches Granulom“ bezeichnet werden können. Ohne daß je eine Ausstoßung eintritt, kommt hier der Prozeß nie zu einem Stillstand. Solche Granulome können klinisch den Eindruck ruhender Einheilung erwecken, verursachen jedoch häufiger dauernde Schmerzhaftigkeit und müssen später oft exzidiert werden.

Die recht lästige Quelfähigkeit und Auffaserung der Seide, die gelegentlich einer Infektion den Weg ebnen kann, hat man durch verschiedene Imprägnierungsversuche beseitigen wollen. *Shambaugh* beispielsweise schlug eine Imprägnierung mit einer Mischung aus Öl und Bienenwachs oder mit Paraffin vor. Die zur Verhütung der Imbibierung derartig präparierte Seide reizt jedoch das Gewebe stärker, ist ziemlich steif und drahtig und läßt sich schwerer handhaben. Ferner büßt sie einen Teil der Elastizität bei einem solchen Prozeß ein.

Um die relativen Vorzüge von Catgut und Seide zu vergleichen, wurde von *Puestow* zur Versorgung von je 100 Strumektomiewunden Catgut bzw. Seide verwandt. Die häufigsten und unangenehmsten Komplikationen entstehen nach Strumektomien durch Serum- bzw. Eiterbildungen und durch Hämatomentwickelungen. *Puestow* beobachtete bei den von ihm operierten Fällen folgende Sekretionen:

	Catgut	Seide
Eitrig	3	0
Diffus serös	10	1
Mäßig serös	15	3
Wenig serös	10	4
	38	8

Bei Catgut trat durch die sich in vermehrter Sekretion äußernde stärkere Entzündung eine verlängerte Wundheilung mit höheren Temperaturen auf. Die Haut in unmittelbarer Nähe der Schnittlinie war gerötet und geschwollen. Aus kleinen Serumtaschen zwi-

schen den Wundrändern entleerte sich mehrere Tage lang das Sekret. Später zeigte sich an diesen Stellen die Narbe verbreitert.

Bei den mit Seide versorgten Wunden war die Schwellung des ganzen Operationsgebietes geringer, Serumtaschen waren seltener und die Rückkehr des Gewebes zu normalem Aussehen geschah schneller. Spätere Vergleiche zeigten eine bedeutend schmalere Nahtlinie bei den mit Seide genähten Wunden.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch *Meleney* und *Dunphy* bei Strumektomien. Nach ihren Beobachtungen war bei Benutzung von Seide das Befinden der Operierten weniger gestört und der Krankenhausaufenthalt um 3 Tage kürzer als bei der Verwendung von Catgut.

Das Vorhandensein von infizierten Wunden wird von sehr vielen Chirurgen als Kontraindikation für die Implantation von Seide angesehen. Diese Tatsache steht im Gegensatz zu der Ansicht *Meades* und *Ochsners*, daß der hauptsächlichste Gebrauch von nichtresorbierbaren Stoffen in stark verunreinigten Wunden am Platze ist. *Thompson* stimmt mit *Halsted* überein, wenn er sagt, daß die Gegenwart von feiner Seide in eiternden Wunden nicht ernstlich die Heilung gefährdet. —

Der relative Wert anderer Nahtstoffe, etwa des Zwirns oder des Stahldrahtes, ist allgemein bekannt, jedoch hat keiner eine solche Popularität erreicht wie Seide und Catgut. Wohl haben diese beiden ihre nicht unbeachtlichen Vorzüge, aber angesichts der Tatsache, daß man bei Verwendung sowohl von Catgut als auch von Seide mehrere recht starke Mängel in Kauf nehmen muß, ist die Suche der Chirurgen nach einem neuen, besseren Nahtmaterial, das mehr ist als ein Ersatzmittel, nur allzu berechtigt.

III. Nylon, ein Polyamid.

a) Kurzer Überblick.

Nylon ist die zusammenfassende Bezeichnung für eine Reihe von Kunststoffen der amerikanischen Firma DuPont de Nemours, denen die deutschen Kunststoffe Igamid bzw. Supramid der I. G. Farben-Werke in Ludwigshafen und die Perlonseide der Leuna-Werke und der Agfa-Fabrik in Wolfen entsprechen.

Nylon wurde in den Jahren 1927—1937 von dem Amerikaner Dr. Carothers entwickelt. Es ist ein faserbildender Thermoplast, gehört in die Gruppe der Polyamide und ähnelt in seinem chemischen Aufbau dem Seidenfibroin, der Eiweißkomponente der Naturfasern Seide und Wolle. Seine Erzeugung erfolgt durch Kondensation von Dikarbonsäuren mit Diaminen. Das so erhaltene zähflüssige Kondensat kann sowohl zu Fäden versponnen als auch im Spritzguß, Preß- oder Walzverfahren zu Formstücken verarbeitet werden. Allein aus dieser Tatsache ergibt sich schon die sehr weite und vielseitige Verwendungsmöglichkeit für Nylon.

Ein großer Vorteil dieses hochwertigen, vollsynthetischen Materials, das unabhängig von den Zufälligkeiten der Natur ist, beruht darin, daß seine Rohstoffquellen — Kohle, Luft und Wasser — in großen Mengen zur Verfügung stehen und daß das Endprodukt in großer Einheitlichkeit anfällt.

Der beispiellose Siegeszug dieses Kunststoffes, der sich im Zeitraum von knapp 10 Jahren in den verschiedensten Industriezweigen Weltgeltung verschaffte, ist auf die außerordentlichen Qualitäten, besonders auf die hohe Zug- und Scheuerfestigkeit der Nylonseide, auf ihre geringe Wasseraufnahme und gute Chemikalienbeständigkeit zurückzuführen. In ihrer Zugfestigkeit übertrifft sie alle zur Zeit verfügbaren Natur- und Kunstfasern.

So ist es nicht verwunderlich, daß die Nylonproduktion in den Jahren 1940—1942 bereits von 1800 t auf 55 000 t stieg. Die den Bedürfnissen des Krieges angepaßte amerikanische Wirtschaft wies dem Kunststoff Nylon, vor allem der Nylonfaser, ein neues, ausgedehntes Einsatzfeld zu, das weit über den Rahmen des bisherigen Anwendungsbereiches in der Textilindustrie hinausging. Die ständig wachsende Produktion — ein recht beträchtlicher Teil floß der Fabrikation von Fallschirmen, chirurgischem Nahtmate-

rial und Verbandstoffen zu — machte nicht nur einen umfassenden Ausbau des Stammwerkes in Seaford (Delaware), sondern auch die Errichtung weiterer großer Zweigwerke in Martinsville (Virginia) und in Chattanooga (Tennessee) notwendig.

Heute steht Nylon, einer der jüngsten, aber erfolgreichsten Kunststoffe, an erster Stelle in der Reihe der Kunstfasern und seine Erzeugnisse haben sich viele Märkte der Welt erobert.

b) Entwicklung und Chemie der Polyamide.

Man hat unsere Zeit mehrfach als Kunststoffzeitalter bezeichnet. Die Diskrepanz zwischen den Bedürfnissen der von der Technik und Industrialisierung beherrschten letzten 50 bis 60 Jahre einerseits und der vielfach recht ungünstigen Rohstofflage andererseits ließ den Ruf nach Ersatzstoffen immer lauter werden.

Als Vater der hochpolymeren oder makromolekularen Chemie — unsere Kunststoffe sind fast ausschließlich Hochpolymere — kann man den deutschen Chemiker Emil Fischer bezeichnen. Er gab uns durch seine Eiweißanalysen, seinen Abbau der Proteine bis zu den Aminosäuren, nicht nur Einblick in den Bau von Riesenmolekülen, sondern wies durch seine Polypeptidsynthesen als Erster den Weg zur Entwicklung künstlicher Polyamide.

Der entscheidende Schritt zu einer erfolgreichen Darstellung eines Polyamids, das in seinen Eigenschaften, besonders als Fasermaterial, den Naturstoffen nicht nachsteht, gelang dem amerikanischen Chemiker Dr. Wallace H. Carothers, der mit seinen Mitarbeitern im Auftrage der DuPont de Nemours & Cie. arbeitete. Röntgenographische Untersuchungen enthüllten ihm die kettenförmige Molekülanordnung in den Naturfasern und ließen die gesetzmäßigen Wechselbeziehungen von Molekularstruktur und physikalisch-chemischen Eigenschaften eines Körpers erkennen.

Besonders sinnfällig ist der Zusammenhang zwischen Struktur und Eigenschaften bei den Kunststoffen. Bei ihnen ist man in der Lage, die Molekülgröße und -struktur praktisch beliebig zu ändern und die dabei auftretenden Eigenschaftsänderungen zu verfolgen, ja, sie sogar recht genau im voraus zu berechnen.

So führen die kugligen, auch als Sphäro- oder dreidimensional bezeichneten Moleküle zu harten, unschmelzbaren, harzartigen Produkten (wie z. B. die „Bakelite“), während eindimensionale, lineare oder Kettenmoleküle die Bildung thermoplastischer Stoffe bedingen.

Unter der Bezeichnung „synthetische Thermoplaste“ wird eine Gruppe von hochmolekularen Stoffen zusammengefaßt, die vollsynthetisch aus niedrigmolekularen Verbindungen aufgebaut sind und nicht nur vor und während der Herstellung, sondern auch im Fertigartikel ihren thermoplastischen Charakter behalten. Dieser thermoplastische Charakter ist unabhängig von den Einzelbausteinen der Makromoleküle, also unabhängig von dem Vorhandensein bestimmter Atome und Atomgruppen; er ist einzig und allein eine Funktion des makromolekularen Bauprinzips. In allen Fällen, in denen ein Stoff aus Großmolekülen aufgebaut ist, die nicht durch echte Hauptvalenzen netzartig miteinander verknüpft, sondern kettenförmig angeordnet sind, liegt ein thermoplastisches Produkt vor. Dabei können die Makromoleküle als starre oder bewegliche Ketten vorliegen und die verschiedenartigsten Atome in der Kette enthalten. All diese Faktoren ändern nicht den thermoplastischen Charakter als solchen, wohl aber beeinflussen sie den Temperaturbereich, innerhalb dessen das Produkt erweicht, sowie die Löslichkeit.

Alle organischen thermoplastischen Stoffe, zu denen auch die Polyamide gehören, lassen sich gedanklich von dem einfachsten Polymeren, dem Polyäthylen, dadurch ableiten, daß entweder die Wasserstoffatome durch andere Atomgruppen ersetzt werden oder aber dadurch, daß sich in die fortlaufende Kohlenstoffkette andere Atome bzw. Ringsysteme einschieben. Im ersten Falle erhalten wir Polymerisate auf der Basis der Vinylverbindungen, im zweiten Polykondensate wie die Polyamide.

Dr. Carothers gebührt das Verdienst, die Struktur eines linearen Polykondensaten, eines Polyamids, entwickelt zu haben, das nicht nur den an einen guten Thermoplasten gestellten Forderungen entspricht, sondern auch eine verspinnbare Faser liefert, die sich durch außerordentliche Zugfestigkeit und Elastizität auszeichnet. Er gelangte zu diesem Polyamid durch Kondensation von zweibasischen Säuren und zweiwertigen Aminen, wodurch rein formelmäßig in regelmäßigen Abständen, die je nach der Wahl der Ausgangsprodukte verschieden groß sein können, zwei benachbarte Kohlenstoffatome der Polyäthylenkette durch die Gruppe



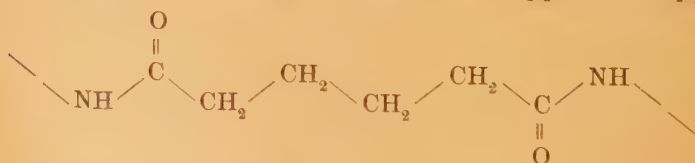
Entscheidend für die Festigkeit der Faser ist die Wahl der Dikarbonsäuren und der Diamine, die mindestens 4 Methylengruppen enthalten sollen, um den Abstand zwischen den stark polaren

Säureamid- oder Peptidgruppen möglichst groß zu gestalten und so die zwischenmolekularen Dipolbindungskräfte zur vollen Wirksamkeit zu bringen.

Die Ausgangsprodukte der Polyamidgruppe, der der Name „Nylon“ gegeben wurde, sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Diamine	Dikarbonsäuren
Tetramethyldiamin	Azelainsäure $\text{COOH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Pentamethyldiamin	Sebacinsäure $\text{COOH}(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$
Hexamethyldiamin	Adipinsäure $\text{COOH}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$
Hexamethyldiamin	Sebacinsäure
Octamethyldiamin	Adipinsäure
Nonamethyldiamin	Sebacinsäure
Decamethyldiamin	Adipinsäure
Undecamethyldiamin	Sebacinsäure
Duodecamethyldiamin	Sebacinsäure

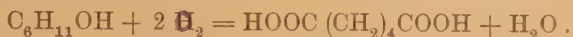
Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß viele verschiedene Arten von Nylon möglich sind, die naturgemäß in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften mehr oder weniger differieren. Als beste aller Nylonsorten stellte Carother das Produkt aus Hexamethyldiamin und Adipinsäure heraus. Es ist als Hexamethylenadipinamid zu bezeichnen und entspricht der Formel:



Beide Ausgangsprodukte, das Hexamethyldiamin als auch die Adipinsäure, haben zwei reaktionsfähige Endgruppen, die während der Kondensation miteinander reagieren zum Hexamethylenadipinamid oder zum sog. „Nylonsalz“. Dieses besitzt an seinen Enden wiederum freie funktionelle Gruppen, die nach dem gleichen Reaktionsschema weiterreagieren können, die Verknüpfung immer neuer Nachbarmoleküle ermöglichen und so zur Bildung langkettiger Moleküle mit einem mittleren Molekulargewicht von 20 000 führen.

c) Technologie der Nylonherstellung.

Zur Gewinnung der Adipinsäure und des Hexamethylendiamins geht man bei der DuPont de Nemours von dem bei der Steinkohlendestillation gewonnenen Phenol aus. Das Phenol wird in einem Druckkessel bei Anwesenheit eines Katalysators (feinverteiltes Nickel) geschmolzen. Unter Druck wird Wasserstoff eingeführt und lagert sich an das Phenol an unter Bildung von Cyclohexanol — $C_6H_{11}OH$ —, einem cyclischen Alkohol. Durch Oxidation mit Luft in Gegenwart eines Katalysators erhält man aus Cyclohexanol unter Aufspaltung des Ringes Adipinsäure, die eine offene Kette bildet:



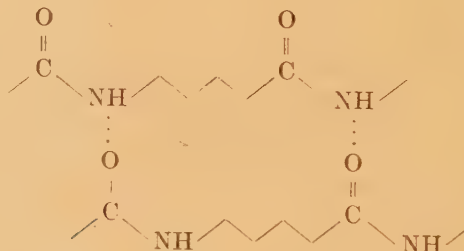
Ein Teil der so hergestellten Adipinsäure wird über ihr Ammoniumsalz zu Hexamethylendiamin weiterverarbeitet. Aus diesen beiden Zwischenprodukten erfolgt unter Erhitzen im Autoklaven in Stickstoffatmosphäre die Herstellung von Nylon durch Kondensation der Adipinsäure und des Diamins zu einem langkettigen Poly-Säureamid.

Das geschmolzene Produkt, das in sirupartiger Konsistenz aus dem Autoklaven rinnt, wird auf einem umlaufenden, mit Eiswasser gekühlten Rad aufgefangen, wo es schnell zu einer weißen, flockigen Masse erstarrt. Diese wird zerkleinert und kann in dieser Form unbegrenzte Zeit bis zur Weiterverarbeitung aufbewahrt werden.

Für die letzte Stufe der Garnherstellung wird eine Anzahl verschiedener Chargen in einem Schmelzkessel gemischt, um ein möglichst einheitliches Endprodukt zu erhalten. Das geschmolzene Gut wird filtriert, mittels einer Pumpe aus Edelstahl durch eine Silikatfilterschicht dem Spinnaggregat zugeführt und dann durch Spinn Düsen mit 12 Öffnungen von je 0,3 mm Durchmesser bei einer Spinn geschwindigkeit von 680 m/min. gepreßt. Die 12 strängigen feinen Fäden, die erhärten, sobald sie an die Luft kommen, werden sofort aufgespult. Sie besitzen eine Fadenstärke von 80 bis 16 den *). Die Moleküle in diesen Fäden befinden sich in völlig unorientiertem, wahllosem Zustand, der die Ursache für die geringe

*) Denier (den) ist die Einheit eines im Jahre 1900 in Paris festgelegten internationalen Titres für die Bestimmung, Messung und Qualifizierung von Seiden und Kunstseiden. Der Titre gibt an, wieviel Gramm ein Faden von 9000 m Länge eines bestimmten Materials wiegt. Beispielsweise hat ein Kunstseidengarn die Stärke von 100 den, wenn ein 9000 m langer Faden desselben 100 Gramm wiegt.

Zugfestigkeit des Fadens in diesem Stadium ist. Durch Dehnung oder Reckung um 400 bis 700 % (das Garn wird von der Fabrikationsspule auf eine zweite schnellerlaufende aufgespult) tritt eine Orientierung der Moleküle entlang der Fadenachse und das von Brill beobachtete „Einklinken“ der CO- und NH-Gruppen ein. Nun sind die Fadenmoleküle so zueinander gelagert, daß die CO- und NH-Gruppen benachbarter Moleküle sich gegenüberliegen und auf Grund ihrer polaren Natur sich gegenseitig anziehen.



Diese Anordnung der Fadenmoleküle bedingt eine hohe Festigkeit und eine außerordentliche Widerstandsfähigkeit des Materials.

Die nun sehr zugfesten und elastischen Fäden besitzen 20 bis 40 den (und mehr) Fadenstärke bei einer Einzelfaserstärke von 1.5 bis 3 den.

d) Eigenschaften der Nylonfaser.

1. Zugfestigkeit.

Die hervorragendste Eigenschaft, die dem Nylonfaden dank seiner linearen Molekülstruktur innewohnt, ist seine große Zugfestigkeit. Hierin übertrifft er alle zur Zeit auf dem Weltmarkt verfügbaren natürlichen und synthetischen Textilfasern und demzufolge auch alle der Chirurgie zu Gebote stehenden nichtmetallischen, nichtresorbierbaren Nahtstoffe. Nach Emil Ott steht Nylon mit einem Vorsprung von 1.2 Gramm pro Denier (g'den) gegenüber den bisher festesten Baumwoll- und Seidenfäden an erster Stelle der Textilfaserreihe. An zweiter und dritter Stelle folgen Baumwolle und Seide und erst in recht beträchtlichem Abstand von diesen erscheinen die verschiedenen Kunstseiden, schließlich Wolle und Kaseinfasern.

Tabelle 1.
Zugfestigkeit verschiedener Fasern
(lufttrocken).

Faser	Zugfestigkeit in g/den
Nylon	4,5 ... 5,5 g/den
Baumwolle	2,7 ... 4,5 „
Seide	3,4 ... 4,4 „
Kupferseide	2,0 ... 2,4 „
Viskoseseide	1,8 ... 2,1 „
Azetatseide	1,6 ... 1,8 „
Wolle	1,0 ... 1,6 „
Kaseinfaser	0,5 ... 0,8 „

In Deutschland ist zur Messung der Zug- bzw. Zerreißfestigkeit bei textilen Fäden neben der Einheit g/den als Größenordnung die Bezeichnung Reiß-Kilometer (Reikm) gebräuchlich. Die Reißlänge (in km) eines fadenförmigen Körpers ist die Fadenlänge, bei der dieser freihängend infolge seines Eigengewichtes zerreißt.

Auch in Reikm gemessen kann Nylon die deutliche Überlegenheit seiner Zugfestigkeit, sogar im Vergleich mit dem deutschen Polyamid Supramid, in überzeugender Weise dokumentieren (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2.
Vergleich von Trocken- und Nafestigkeit.

Fasermaterial	Trockenzugfestigkeit in Reikm	Nafestigkeit in % der Trockenfestigkeit
Nylon	54 ... 62	85 ... 95 %
Supramid	40 ... 48	80 ... 85 %
Seide	30 ... 45	75 ... 85 %

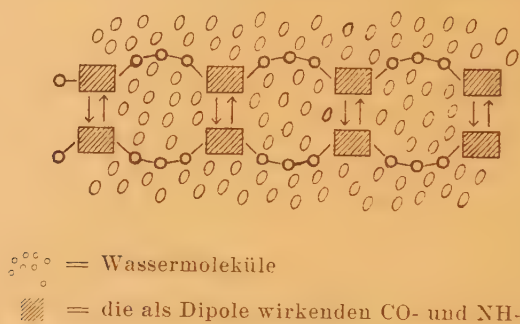
Beachtlich neben der guten Zugfestigkeit ist die große Nafestigkeit Nylons, eine Eigenschaft, die, neben anderen, seine Anwendung als Nahtmaterial rechtfertigt, denn es ist von besonderer Bedeutung für die Haltbarkeit einer Naht, daß sich bei der nicht ausbleibenden Durchtränkung mit Gewebsflüssigkeit die Festigkeit des verwendeten Materials nicht wesentlich ändert.

Die hohe Nafestigkeit ist eine Funktion der sehr geringen Wasserabsorption.

2. Wasserabsorption der Nylonfaser.

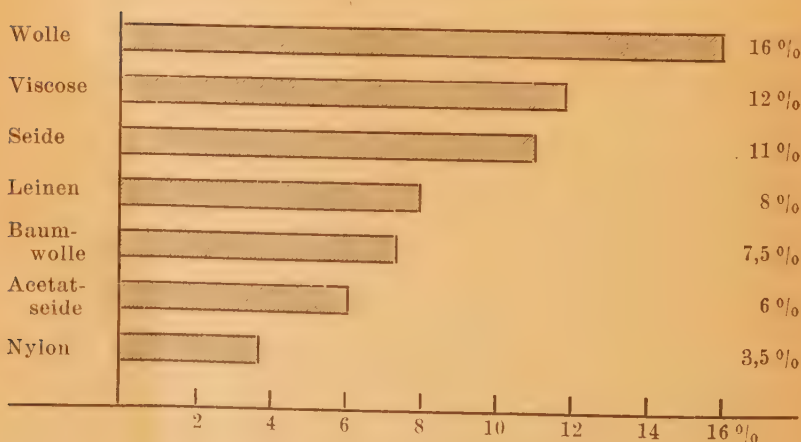
Die Wasseraufnahmefähigkeit liegt in bedeutend engeren Grenzen als bei anderen Faserstoffen. Man macht auch für diese Eigenart die Molekularstruktur verantwortlich. Durch die sehr großen

sekundären Bindungskräfte der Dipolgruppen werden die Molekülketten in paralleler Anordnung zur Fadenachse fest aneinandergehalten, und es gelingt den Wassermolekülen nur schwer, diese Bindungen zu lockern, die Ketten auseinanderzudrängen und in das Innere des Fadens einzudringen (siehe folgende Skizze).



Bei Zimmerfeuchtigkeit nimmt Nylon nur 1 bis 2 % Wasser auf, während in einem Milieu mit 100 % relativer Feuchtigkeit, etwa beim längeren Lagern im Wasser, die Absorption 7,5 bis 8 % beträgt; im Gegensatz dazu beträgt sie bei Seide bei 60 % relativer Feuchtigkeit bereits 11 %.

Tabelle 3.
Wasserabsorption bei 60 % relativer Feuchtigkeit.



Die günstigen Absorptionseigenschaften Nylons gehen aus der Tabelle 3 hervor, die einen Vergleich mit denen anderer Fasern zuläßt. Tabelle 4 zeigt die wachsende Wasseraufnahme (in Gewichtsprozent) bei steigender relativer Feuchtigkeit.

Tabelle 4.
Wasseraufnahme bei steigender relativer
Feuchtigkeit.

Relative Feuchtigkeit	Wassergehalt in %
10 %	0,75
20 %	1,35
30 %	1,95
40 %	2,50
50 %	3,00
60 %	3,50
70 %	4,55
80 %	5,55
90 %	6,70
100 %	7,50 ... 8,00

Die niedrige Feuchtigkeits- bzw. Wasserabsorption befähigt das Nylongarn außerordentlich schnell zu trocknen und im feuchten Milieu nur geringfügig zu quellen. Diese geringe Quellfähigkeit wird der Chirurg bei Nylon-Nahtmaterial ganz besonders begrüßen und schätzen.

3. Elastizität, Dehnfähigkeit.

Elastizität ist die Fähigkeit eines Stoffes, nach Dehnung seine ursprüngliche Form wieder einzunehmen. Die Elastizität Nylons ist außerordentlich groß und mit 8 % wahrer Elastizität (bei einer Dehnung um 8 % ist noch eine 100 % ige Rückkehr zur ursprünglichen Fadenlänge möglich) steht es auch in dieser Hinsicht an erster Stelle der Natur- und Kunstfasern (Tabelle 6).

Tabelle 5.
Elastizitätsvergleich zwischen Nylon
und Seide.

% der Dehnung (100 sec. anhaltend)	% Elastizität innerhalb 60 sec. (völlige Rückkehr)	
	Seide	Nylon
2	88	100
4	76	100
8	56	100
16	47	91

Tabelle 6.

Elastische Erholung nach 8 % Dehnung.

Nylon	100 %
Seide	56 %
Acetatseide	50 %
Viskoseseide	30 %

Wenn jedoch ein Nylonfaden, nachdem er während mehrerer Tage unter Spannung stand, gelockert wird, kehrt er nicht spontan zu seiner ursprünglichen Länge zurück. Im Augenblick der Entspannung schrumpft der Faden um nahezu 50 %, in den ersten 24 Stunden um 85 % der Gesamtdehnung. Er benötigt dann bis zu 2 Wochen, um zur Originallänge zurückzukommen.

Die Dehnfähigkeit Nylons beträgt — je nach Fadenstärke und Faserzahl (Tabelle 7) — 19 bis 30 %, d. h. ein Faden kann bis zu 30 % seiner Eigenlänge ausgedehnt werden, ehe er zerreißt. Im nassen Zustand (bei 72 % rel. Feuchtigkeit) ist die Dehnfähigkeit noch um 5 bis 30 % größer.

Tabelle 7.

Dehnbarkeit bei verschiedener Fadenstärke.

Denier	Faserzahl	Zugfestigkeit g/den	Dehnfähigkeit %
30	10	5,7	30
40	13	5,2	25
60	20	4,8	28
210	68	6,4	19

Nylongarn benötigt nur den 3. oder 4. Teil des Zuges für eine bestimmte Dehnung im Vergleich zu anderen Fasern.

Tabelle 8.

Vergleichende Spannungen, die die Fasern um 1 % ausdehnen.

Nylon	0,10 ... 0,25 g/den
Wolle	0,32 g/den
Baumwolle	0,50 g/den
Viskoseseide	0,70 g/den
Seide	0,75 ... 1,16 g/den
Glaswolle	2,75 g/den

Die Leichtigkeit, Nylon zu dehnen, wächst mit der Zunahme der relativen Feuchtigkeit.

4. Widerstandsfähigkeit gegen Wärme und Kälte; verwandte Eigenschaften.

Veränderung der mechanischen Eigenschaften Nylons bei steigender Temperatur in verschiedenem Milieu:

- 65° C — 4 monatige Lagerung in Luft bei dieser Temperatur verursacht einen Verlust von 5 %, eine 1 jährige Lagerung einen Verlust von 20 % der Zugfestigkeit.
- 100° C — der Aufenthalt in Dampf während 6 Tagen erzeugt eine gerade wahrnehmbare Änderung in der Zugfestigkeit und Widerstandsfähigkeit.
- 200° C — ein 3 stündiges Verweilen in O₂ freier Atmosphäre bewirkt keine Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften.
- 225° C — ein 3 stündiger Aufenthalt bewirkt eine geringe Festigkeitsabnahme, während bei
- 245° C ein beträchtlicher Festigkeitsverlust eintritt.

Trockene Kälte, auch in längeren Zeiträumen, hat bis zu

- 80° C keine schädliche Wirkung für die Zugfestigkeit und schränkt lediglich die Dehnbarkeit in geringem Maße ein.

Die durchschnittliche Wärmekapazität Nylons zwischen 20° C und 250° C beträgt 0,555 cal/g/° C, seine Schmelzwärme 22 cal g.

5. Das Einlaufen.

Gedrehtes Nylon zeigt — abhängig von der Spannung, unter der die Fäden gedreht und gewirnt wurden — folgende Tendenz zum Einlaufen:

Behandlung	Schrumpfung in %
25° C Wasser, 3 Minuten	0,0 %
50° C „ 3 „	0,2 %
75° C „ 3 „	0,5 %
100° C „ 3 „	2,8 %
100° C Dampf 3 „	0,2 %
100° C „ 10 „	0,5 %
100° C „ 60 „	1,4 %
120° C „ 3 „	2,4 %
120° C „ 10 „	2,5 %

Bedeutungsvoll ist der beträchtliche Unterschied bei der Behandlung mit Wasser und Dampf bei 100° C. Um den Effekt des Einlaufens möglichst niedrig zu halten, wird sich der Chirurg für die Dampfsterilisation des Nahtmaterials im Autoklaven entschei-

den, weil dabei gleichzeitig, auch bei wiederholter Sterilisation, die Gesamtzugfestigkeit des Fadens unverändert bleibt.

6. Abnutzungswiderstand.

Nylon hat eine große Widerstandsfähigkeit gegen die Abnutzung. Darin übertrifft es die Textilfasern Seide, Rayon und Baumwolle um 200 bis 250 %. Die Widerstandsfähigkeit ist bedingt durch die dem Nylonfaden eigene Zugfestigkeit, Elastizität und die Fähigkeit, einer starken Biegung und Knotung zu unterliegen, ohne zu reißen. Der Faden ist besonders fest, weil jede Faser im Querschnitt gleichmäßig rund und frei von Oberflächenunregelmäßigkeiten ist. Dank dieser Eigenschaften wird die glatte Oberfläche der Fäden nur schwer rau, wenn sie gegeneinander oder gegen andere Flächen und Kanten scheuern.

7. Chemische Eigenschaften.

Nylonpolymere sind resistent gegen fast alle organischen Säuren, gegen Tetrachlorkohlenstoff, Trichloräthylen, Laugen, Seifen, Benzine, Aldehyde, Ketone und Alkohole. Nicht resistent sind sie gegen Ameisen- und Essigsäure, Karbolsäure und Phenol, so daß diese die recht ungewöhnlichen Lösungsmittel der Nylongruppe darstellen.

Nylon wird in seiner Festigkeit durch oxydierende Mittel und durch Mineralsäuren beträchtlich geschädigt. Kocht man es in 5 % iger Salzsäure, so wird es spröde und löst sich schließlich auf. Ähnlich wirkt auch kalte konzentrierte Salpetersäure. Ein 16 stündiger Aufenthalt in Laugen bei 85 ° C verändert jedoch das Gefüge und die mechanischen Eigenschaften Nyons nicht.

8. Widerstandsfähigkeit gegen Mikroorganismen, Pilze, Fermente und körpereigene Flüssigkeiten.

Ausführliche Versuche haben ergeben, daß keine Art von Bakterien imstande ist, Nylon anzugreifen. Auch gegen Pilze und Schwämme ist es außerordentlich widerstandsfähig. Nachdem Nylon, in Erde gebettet, 21 Tage lang dem Wirken von zellulosezerstörenden Mikroorganismen und Schimmelpilzen wie *Aspergillus*, *Penicillium glaucum*, *Chaetium globosum* ausgesetzt war, zeigte es sich in seinem Aussehen unverändert und es konnte nur ein geringer Verlust (1 % ... 5 %) seiner Zugfestigkeit festgestellt

werden. Seiden- und Baumwollfäden wurden unter gleichen Bedingungen völlig zerstört.

Trotz der eiweißähnlichen Natur, trotz des Vorhandenseins vieler Peptidgruppen in den Riesenmolekülen, wird Nylon von eiweißspaltenden Fermenten nicht angegriffen oder gar abgebaut. Als Naht oder Ligatur in den Körper implantiert, verweilt es als nicht-resorbierbarer Stoff unverändert und inaktiv in den Geweben. In vitro und in vivo konnte nachgewiesen werden, daß weder menschliches Blut oder Lymphe noch Harn, Galle oder Magensaft die Substanz Nylons angreifen oder seine physikalischen Eigenschaften beeinflussen.

IV. Tierexperimentelle Untersuchungen mit Nylon als Naht- und Unterbindungsmaterial.

Die guten physikalischen und chemischen Eigenschaften Nytons, vornehmlich im Vergleich zu Seide, veranlaßten schon sehr früh mehrere amerikanische Chirurgen, diesen neuen Kunststoff auch als chirurgisches Nahtmaterial zu erproben. Die mechanischen Qualitäten des Fadens, seine große Zugfestigkeit und Elastizität, seine glatte Oberfläche und die konstante Gleichheit des Fadens, waren erwiesen und bekannt; es galt nun seine Körperverträglichkeit, seine Gewebsreaktion und seine Einheilungstendenz zu untersuchen. Von den zahlreichen, zu diesem Zweck unternommenen Tierexperimenten verdienen namentlich die von Arles, Farris, Foote, Jeker und Narat besondere Beachtung.

Farris führte eine Experimentenreihe durch, bei der er die vordere Augenkammer von Kaninchen benutzte, um das Reizphänomen der verschiedenen Nahtstoffe festzustellen. Die Tatsache, daß die vordere Augenkammer ein ausgezeichnete Nährboden ist, wurde durch die Züchtung von Gewebskulturen und experimentellen Neoplasmen bereits bewiesen. Unter vollkommen aseptischen Bedingungen wurden je 1 cm Catgut, Seide, Nylon, rostfreier Stahl, Silkworm und Zwirn in die vordere Augenkammer implantiert. Durch die durchsichtige Cornea konnten jegliche Veränderungen beobachtet werden. Die zu verschiedenen Zeiten in dem Kammerwasser erhobenen Befunde waren ein quantitatives Zeichen der Reaktion. In bestimmten Intervallen wurden Zellzählungen im Kammerwasser vorgenommen.

Die Ergebnisse machten den großen Unterschied zwischen den Reaktionen resorbierbarer und nicht-resorbierbarer Nähte auffallend sichtbar. Bei Nylon war die Reizwirkung unter den nicht-metallischen Nahtfäden am geringsten: in den ersten 7 Tagen war praktisch keine Reaktion vorhanden und erst nach 14 Tagen bestand eine leichte Trübung des Kammerwassers, der eine Leukozytenzahl von 250/mm³ entsprach. Ähnlich waren auch die Reaktionen bei Seide und Zwirn, die Zellzahlen lagen nur wenig höher als bei Nylon. Die Nylonnähte wurden bis zu einem Jahr in der vorderen Augenkammer belassen, ohne daß es zu einer sichtbaren Schädigung für die Augen gekommen ist.

Außerordentlich gering war die Reaktion bei rostfreiem Stahl. Eine Trübung war kaum nachweisbar und es fanden sich im Kammerwasser nur 5 bis 10 Leukozyten/mm³.

Bedeutend stärker waren die Reaktionserscheinungen nach Catgutimplantation. Das Kammerwasser wurde schon nach kurzer Zeit nahezu undurchsichtig und nach Ablauf von 10 Tagen hatte das Tier seinen Visus verloren. Das Kammerwasser erschien eitrig und die Zellzahl betrug durchschnittlich 4000 bis 6000 Leukozyten/mm³. Kammerwasserkulturen in Blutagar und Fleischbrühe waren negativ.

Diese außerordentliche Versuchsreihe beweist in sehr eindringlicher Weise — und in Übereinstimmung mit den Resultaten der Untersuchungen Nichols — die gegenüber Catgut so geringe Gewebsreaktion nichtresorbierbarer Stoffe im allgemeinen und von Nylon im besonderen.

Die Autoren Aries, Foote und Jeker benutzten Nylon, teilweise im Vergleich mit Seide, bei jungen, gesunden Hunden männlichen Geschlechtes zum Verschluß von Laparatomiewunden, zu Gastroenterostomien, Enteroanastomien, Blasennähten, Sehnennähten sowie zu Nähten im Perineurium. Sie kamen dabei — unabhängig voneinander — zu folgenden übereinstimmenden Ergebnissen bei den verschiedenen Geweben:

Hautnähte: Die mit Nylon geschlossenen Hautwunden heilten sämtlich primär, ohne daß es an einer Stelle zu Sekretionen oder Stichkanalleitungen kam. Charakteristisch war immer wieder das Entstehen einer außerordentlich schmalen, wenig auffälligen Narbe.

Die mikroskopisch untersuchten Hautnähte zeigten, entsprechend dem makroskopischen Befund, eine ganz feine, kaum sichtbare Bindegewebsbildung in der Cutis und im Subkutangewebe. Die Epithelisierung war eine vollständige, wobei die ursprüngliche Wunde nicht zu erkennen war. Auch Large hebt die besondere Neigung mit Nylon genähter Hautwunden zur Epithelisierung hervor. Nach seinen Beobachtungen scheint Nylon diese zu begünstigen und zu beschleunigen.

Fasziennähte: Zur Beurteilung der Einheilung von Nylon in der Muskelfaszie diente der vergleichsweise Verschluß der vorderen Rektusscheide bei Laparatomien mit Nylon und Seide.

Makroskopische Befunde: Die Nylonnähte zeigten nirgends Adhäsionen mit dem darüberliegenden Subkutangewebe. Das Fadengewebe wurde sowohl nach 28, als auch nach 61 Tagen so unverändert vorgefunden, wie es am Tage der Operation implantiert

wurde. Die Seide dagegen war vollständig von einem dichten Fremdkörpergranulationsgewebe umhüllt und in ihrer eigentlichen Struktur kaum noch zu erkennen. Serumansammlungen fehlten bei der Nylon- wie auch bei der Seidennaht.

Mikroskopische Studien zeigten, daß die Nylonfäden gut abgekapselt waren. Nach 14 Tagen waren die Nähte nur von einzelnen Lymphozyten umgeben, die nach 28 Tagen von vereinzelt Rundzellen abgelöst wurden. Nirgends war eine Infiltration zu beobachten. Nach Ablauf von 8 Wochen war die Nylonnaht von einem festen Fibroblastenring gegen das umgebende Gewebe abgeschlossen.

Bei der Seide enthüllte das Mikroskop eine Gewebsreaktion, die bei oberflächlicher Besichtigung nicht sichtbar geworden war. In der Umgebung der Seidenfäden bestand eine stärkere zelluläre Infiltration; die Fäden selbst waren von einem Leukozytenwall umgeben, der nach 56 Tagen durch einen Wall von Lymphozyten, einzelnen Riesenzellen und Plasmazellen ersetzt war. In einem Gesichtsfeld, in welchem Nylon und Seide nur 15 mm auseinanderlagen, war eine deutliche Auffaserung und Infiltration des Seidenfadens mit Rundzellen zu erkennen, während der Nylonfaden frei von Zellen war.

Magen- und Darmnähte (nach Gastrotomien, Gastroenterostomien und Enteroanastomien): Bei einer Gastrotomie wurde die Magenwand zweischichtig mit dünnem Nylon (0,15 mm) genäht, für das Peritoneum, die Faszie und Haut wurden stärkere Fäden benutzt. Bei der 21 Tage nach der Operation erfolgten Obduktion erwiesen sich sämtliche Schnitte als verheilt. Das Gewebe war nirgends durchschnitten, die Mukosa war intakt. Gewebsschnitte ergaben eine sehr zellarme Gewebsreaktion mit vereinzelt Fibroblasten in der Umgebung der Nähte, während die Fäden selbst unverändert und in den Faserlücken frei von eingewanderten Zellen waren.

Sehr ähnlich sind auch die Ergebnisse bei den vorgenommenen Gastroenterostomien. Die Anastomosen zeigten ein gutes Funktionieren. Die Anastomosenöffnung war bei allen Tieren intakt; Verwachsungen waren nicht eingetreten. Während die nach 96 Stunden getöteten Tiere schon makroskopisch einen deutlichen Unterschied in der Reaktionsstärke zwischen Nylon und Seide erkennen ließen, war derselbe bei den nach 30 Tagen obduzierten Tieren erst mikroskopisch zu erkennen. Die Seidenfäden nach 96 Stunden waren von einer stattlichen Anzahl polymorphkerniger Leukozyten umgeben, während die Granulozyten bei Nylon nur ganz

spärlich vertreten waren. Nach 30 Tagen ist Nylon von einem zell-armen, fibrillären Bindegewebe umschlossen. Bei Seide hingegen sind Rundzellen, Plasmazellen und etliche Lymphozyten an die Stelle der Granulozyten getreten und bilden das sog. „Fremdkörpergranulom“.

Entsprechend waren auch die Gewebsreaktionen bei Anastomosen zwischen Jejunum und Ileum: Nylons geringer Gewebsreiz äußerte sich hier in dem fast vollständigen Fehlen einer Leukozytenreaktion und sehr bald trat eine Abkapselung durch Fibroblasten auf. Die Anastomosen waren vollständig dicht, nirgends trat eine Reizung des Peritoneums auf. Die Muskosa war glatt und überall komplikationslos aneinandergeheilt, so gut, daß nach einigen Wochen die Naht nur durch eine Markierung wiederzufinden war. Jegliche Ulzeration oder Erosion fehlte.

Sämtliche Gefäße, namentlich die des Mesenteriums, wurden mit Nylon abgebunden. Die nachfolgende mikroskopische Untersuchung ergab eine vollkommene Obliteration der Arterien und Venen, ohne daß die Fäden in das Gewebe eingeschnitten hatten. Die Umgebung war frei von entzündlichen Reaktionen.

Serosanähte: Zur Erprobung der Haltbarkeit von Fixierungsnähten an dem parietalen Bauchfellblatt wurden 7,5 cm lange Abschnitte des Jejunums und Ileums mit dem Peritoneum vernäht. Schon bei der Operation erwies sich die relative Rauigkeit des Seidenfadens als nachteilig, da sie das Serosagewebe mehrfach durchschnitt, als der entsprechende Darmabschnitt durch Zug dem Bauchfell genähert wurde.

Nach Ablauf von 60 Tagen ergab sich eine gute und vollständige Verbindung der mit Nylon genähten Darmabschnitte mit dem Peritoneum. Die einzelnen Nähte waren nicht mehr zu erkennen; das Bauchfell war nirgends gereizt. Im mikroskopischen Bild waren die Nylonnähte gut abgekapselt, der Rundzellmantel war jedoch sehr spärlich und nicht ganz vollständig.

Die Annäherung des Darmes an das Peritoneum der Bauchwand bei Verwendung von Seide war dagegen eine unvollkommene. Einzelne Nahtstellen waren ausgerissen oder entzündlich gerötet, in der Umgebung waren Serumansammlungen zu beobachten.

Blasennähte: Die in den Fundus der Harnblase gelegten Schnitte wurden mit feinstem Nylon genäht. Der Defekt wurde mit einer Serosanaht gedeckt. Die Tiere wurden 21 Tage nach dem Eingriff getötet. Die Wunde war reizlos und gut verheilt, die wieder intakte Mukosa bedeckte die Nahtstellen völlig. Eine Fistelbil-

dung war nicht nachzuweisen, als die Blase unter Druck mit einer gefärbten Flüssigkeit gefüllt wurde. Die Gewebsreaktionen entsprechen ganz den bei Magen- und Darmoperationen beobachteten. Ähnliche Ergebnisse, besonders in bezug auf fehlende Fistelbildungen, gewann man auch nach Sigmoidresektionen.

Sehnennähte: Die Sehnen der Extensoren an den vorderen Extremitäten wurden durch Längsschnitte freigelegt, die Sehnencheiden aufgeschnitten und die Sehnen quer durchgetrennt. Die Wiedervereinigung der durchtrennten Sehnen erfolgte zur Hälfte mit Nylon-, zur anderen mit Seidennähten. Fascia superficialis und Haut wurden gleichfalls mit Nylon genäht. Die Vorderfüße der Tiere wurden dann für 3 bis 4 Wochen eingegipst. Die nach der Gipsabnahme erfolgte Exzision der genähten Sehnen ergab eine so vollständige Verwachsung der beiden Sehnenabschnitte, daß die Nahtlinie kaum noch zu finden war. Der makroskopische Befund wies keinen Unterschied zwischen Nylon und Seide auf; lediglich bei der mikroskopischen Betrachtung fiel auch die hier wieder sehr geringe Gewebsreaktion des Nylonfadens auf, die allein in einer Hülle aus kernarmem Bindegewebe bestand.

Nähte in Perineurium: Der Nervus ischiadicus wurde bei drei Hunden freigelegt, jedoch nur teilweise durchschnitten, um eine komplette Paralyse zu vermeiden, der gewöhnlich eine Wundinfektion folgt. Das Perineurium wurde dergestalt mit feinstem Nylon genäht, daß die beiden Nervenstümpfe zusammengebracht wurden. Die Nahtstelle wurde nicht, wie sonst vielfach gebräuchlich mit Fettgewebe gedeckt. Nach 3 bis 4 Wochen zeigte die Nahtstelle Verwachsungen, die sich aber leicht lösen ließen. Die Naht selbst war gut mit Bindegewebsfasern bedeckt, die Nervenstümpfe hatten sich wieder vereinigt. Das Perineurium, sowie die Räume zwischen den Nervenbündeln waren frei von Granulozyten, im Perineurium fanden sich einige Fibroblasten und ganz vereinzelt Lymphozyten.

Nähte in infizierten Wunden: Um das Schicksal von Nylon und Seide in infizierten Wunden zu bestimmen, wurden paramediane Längsschnitte rechts und links durch die Haut, die vordere Rektusscheide und den Rektusmuskel gelegt. Die oberen Partien der Schnitte wurden mit Nyloneinzelnähten, die unteren mit Seide geschlossen. Vor der Hautnaht waren die rechten Wunden mit einer Reinkultur von *Staphylococcus aureus*, die linken mit einer reinen Bouillonkultur von *Bacillus coli* beimpft worden.

Die Untersuchung der linken Wunden ergab eine deutliche Infektion mit Ödem, Rötung der Wundränder und Anwesenheit von

reinem Eiter, der durch die Stichkanäle der Haut nach außen drang. Die rechten Wunden waren ödematös geschwollen und gerötet, enthielten jedoch nur wenig Eiter.

Nach 14 Tagen gingen die Entzündungserscheinungen der linken Wunden zurück, die Eitermengen wurden geringer. Das Ödem der Wundränder war jedoch noch deutlich sichtbar. Die rechten Wunden dagegen waren rosa und es zeigten sich nur noch leichte Ödeme. An zwei Stellen hatten sich die Seidenfäden abgestoßen.

Nach Ablauf von 3 Wochen waren die linken Wunden frei von Eiter, aber ein Abfließen von seröser Flüssigkeit aus den Stichkanälen bestand noch immer.

Die Hunde wurden nach 24 Tagen getötet und die Haut an den Schnittstellen geöffnet. Die Nähte lagen sicher und fest in der Faszie, ein auffälliger Unterschied zwischen Seide und Nylon war bei der Betrachtung mit bloßem Auge nicht zu erkennen. Das Mikroskop zeigte eine starke Auffaserung des Seidenfadens, einzelne Leukozyten aus dem sehr dichten Infiltrat der nächsten Umgebung waren in die Faserzwischenräume eingewandert und hatten eine deutliche Trennung der einzelnen Fasern bewirkt. — Der Leukozyten- und Lymphozytenwall bei den Nylonnähten war bedeutend lockerer angeordnet als bei Seide. Nylon hatte sein Fadengefüge und seine Festigkeit vollständig bewahrt. Aus der Umgebung Nylons verschwanden die Leukozyten bedeutend früher als aus der Umgebung der Seide, in der die leukozytäre Infiltration sehr stark und lange anhielt.

Zusammenfassende Ergebnisse: Nylon erweist sich somit als ein Nahtmaterial von außerordentlich geringer Reizwirkung bei Implantation in die verschiedenen Gewebe. In sehr vielen Fällen, namentlich bei Haut-, Faszien- und Mukosanähten, ist es der Seide deutlich überlegen. Nylon wird von Gewebsflüssigkeit und Granulozyten nicht angegriffen, sein Gefüge und seine mechanischen Eigenschaften bleiben auch in infizierten Wunden erhalten, in denen die Tendenz zur Abstoßung geringer als bei Seide ist.

Nylon hat alle guten Eigenschaften von Seide, ist außerdem fester, reizloser und wird in seinen Faserlücken viel schwerer infiltriert als Seide.

V. Die chirurgische Anwendung Nylons und ihre Ergebnisse.

Nachdem Nylon seine gute Gewebsverträglichkeit und seine geringe Reizwirkung tierexperimentell unter Beweis gestellt hatte, konnte man dazu übergehen, es auch beim Menschen als Nahtmaterial zu erproben.

Auf Anregung von Herrn Prof. Dr. E. Gohrbandt wurde Nylon im Krankenhaus Moabit zu einer Reihe von Operationen an Stelle von Seide oder Catgut als Naht- und Unterbindungsmaterial benutzt. Eine Auswahl der Patienten für diese Nylonserie nach besonderen Gesichtspunkten — etwa nach Alter und Geschlecht, nach Kräfte- oder Ernährungszustand, Reaktionslage usw. — fand nicht statt.

Zur Erläuterung der gewonnenen Ergebnisse dieser Versuchsreihe seien aus der Kasuistik einige Fälle angeführt.

1. Frau Klara K., 47 Jahre.

Diagnose: Fast faustgroßer Narbenbruch nach Cholecystectomy.

Operation: Exzision der Narbe in ihrer ganzen Länge; Bauchdeckenverschluß (durchgreifende Naht) mit Nylon, Durchmesser 0,71 mm; 2 kaudal gelegene Hautnähte wurden mit Seide genäht, während für alle übrigen Nylon vom Durchmesser 0,58 mm verwandt wurde.

Verlauf: Wunde heilte per primam und war völlig reizlos. Die Stichkanäle waren nicht gerötet, lediglich die der beiden Seidenfäden zeigten leichte Rötung. Die am 15. Tage nach der Operation gezogenen Nylonfäden waren in ihrem Gefüge unverändert, während an den Seidenfäden eine leichte Auffaserung und Quellung mikroskopisch nachzuweisen war. — Niedrige postoperative Temperaturen, Puls normal, gutes Allgemeinbefinden. Entlassung der Patientin mit fester, schmaler und reizloser Narbe.

2. Frau Margarete F., 61 Jahre.

Diagnose: Adenocarcinoma Mammæ dextr., Steinthal I.

Operation: Ablatio mammæ. Ovaläre Umschneidung der rechten Mamma mit Abtragung der Brustdrüse bzw. des ganzen Prä-

paras (Brustdrüse, großer und kleiner Brustmuskel, Achselhöhlenfett) in üblicher Weise. Sämtliche Unterbindungen mit Nylon vom Durchmesser 0,15 mm, Hautnähte mit Nylon 0,71 mm stark; Drainage der Achselhöhle an der tiefsten Stelle.

Verlauf: Am 2. Tag nach der Operation wurde der Drain entfernt. Nur geringe Wundsekretion. Die Fäden wurden am 11. Tag gezogen. Primäre Wundheilung. Keine Rötung der Stichkanäle. Niedrige postoperative Temperaturen. Gute Beweglichkeit des rechten Armes. 17 Tage nach der Operation konnte die Patientin in gutem Allgemeinzustand mit völlig abgeheilter Wunde, die eine schmale Narbe zeigte, entlassen werden.

3. Fräulein Senta B., 22 Jahre.

Anamnese: 1946 wurde wegen Mammahypertrophie eine Mammaplastik ausgeführt. Die anfänglich schmalen, reizlosen Narben hypertrophierten sehr bald und entwickelten sich zu breiten Narbenkeloiden, die 1947 exzidiert wurden. Im Zeitraum von 8 Monaten bildeten sich erneut fingerbreite, über das Hautniveau vorgewulstete Narben aus.

Diagnose: Narbenkeloidrezidiv; Zustand nach Mammaplastik und Keloidexzision.

Operation: Exzision der Keloidnarben in den submamillären Falten. Intrakutane Nylonnähte (0,15 mm stark). Einige Hautsituationsnähte wurden mit Zwirn genäht, alle übrigen mit Nylon ($\varnothing = 0,71$ mm).

Verlauf: Die Wunden heilten per primam und zeigten keinerlei Reizerscheinungen. Die Stichkanäle der Zwirnfäden waren leicht gerötet und sonderten geringe Mengen seröser Flüssigkeit ab, während die Stichkanäle der Nylonfäden völlig reaktionslos waren. 12 Tage nach der Operation konnte die Patientin mit reizlosen, schmalen Narben in die Behandlung des Röntgenologen entlassen werden. Röntgennahbestrahlungen nach Chaoul: 3000 r in 8 Sitzungen.

Mehrmalige Inspektionen in größeren Zeitabständen nach der Operation ergaben schmale, kosmetisch einwandfreie Narben, die keinerlei Anhalt für eine erneute Keloidbildung boten. Auffällig war die zirkumskripte Verbreiterung der Narbe an einigen Stellen, an denen sich einst Nähte befanden, die unter größerer Spannung und stärkerem Zug gestanden und somit einen vermehrten Reiz für die Fibroblastenbildung geboten hätten.

4. Kind Annemarie H., 7 Jahre.

Diagnose: Appendizitis.

Operation: Appendektomie: Pararectalschnitt. Nach Eröffnung der Bauchhöhle Abtragung der etwa 12 cm langen, mäßig infizierten Appendix, die mit Oxyuren angefüllt war. Stumpfversenkung und Deckung durch Schlupfnähte sowie Einzelknopfnähte (Nylon 0,15 mm). Fortlaufende Peritonealnaht, durchgreifende Bauch- sowie Hautnähte mit Nylon 0,58 mm.

Verlauf: Primäre Wundheilung, komplikationsloser Heilungsverlauf. Die schmale Narbe zeigte keinerlei Stichkanalleitung oder -rötung.

5. Herr Paul E., 59 Jahre.

Durchblutungsstörungen der unteren Extremitäten.

Operation: Sympathektomie. Pararektalschnitt im rechten Mittelbauch. Retroperitoneale Freilegung des lumbalen Grenzstranges. Entfernung des 4. und 5. Lumbal- und des Sakral-Ganglions. Unterbindungen und Wundverschluß mit Nylon (0,71 mm).

Verlauf: Wunde heilte per primam, die Fäden wurden am 9. Tag nach der Operation gezogen. Sie waren in ihrem Gefüge unverändert, die Oberfläche war glatt geblieben. Die Wunde war völlig reizlos und zeigte keinerlei Stichkanalleitung

Abschließend sei noch ein Fall von Gallengangsatresie erwähnt, bei dem man sich trotz schlechter Prognose zu einer Operation entschloß. Er ist einer der wenigen Fälle, die uns gestatteten, postmortal die Gewebsreaktion bei Nylonnähten makroskopisch und histologisch zu studieren.

6. Säugling Dieter G., 1 Monat.

Anamnese: Normalgeburt. Das Kind wurde am 2. Tag post partum ikterisch, ohne sich wieder zu entfärben. Die Stühle waren immer acholisch. Bei der Aufnahme in das Krankenhaus bestand neben einem intensiven Ikterus eine Anämie von 63 % Hb.

Diagnose: Gallengangsatresie.

Operation: Rippenbogenrandschnitt rechts. Die Gallenblase war nur als ungefähr 3 cm langer schlaffer Schlauch angelegt. Das Lumen war für eine dünne Sonde durchgängig, ließ sich aber nicht in Richtung auf die Gallengänge verfolgen. Anlage einer Cholecystogastrotomie über einem Gummidrain. Zusätzlich Hepatojejunotomie. Zu sämtlichen Unterbindungen und Nähten wurde Nylon (0,15 mm und 0,58 mm) benutzt.

Verlauf: Auch nach der Operation blieben die Stühle weiterhin acholisch. Gallenfarbstoffe im Blut konnten nicht nachgewiesen werden. Unter den Zeichen der Intoxikation kam das Kind 3 Tage nach der Operation ad exitum.

Bei der Obduktion erwiesen sich sämtliche Nahtstellen als frei von entzündlichen Reaktionen. Ein Ein- oder Durchschneiden der Nahtfäden war nirgends — auch nicht im Lebergewebe — zu beobachten.

Die makroskopischen Befunde der Nahtstellen stimmten völlig mit den mikroskopischen Bildern überein, die in unmittelbarer Nähe der Stichkanäle eine äußerst schmale und zellarme Reaktionszone erkennen ließen.

Die Schilderung von 6 Fällen der Nylon-Versuchsreihe mag genügen, um ein klares Bild von der außerordentlich guten Körperverträglichkeit und der geringen Reizwirkung des Nylonfadens, die sich im Fehlen der Stichkanalreaktion besonders deutlich manifestiert, zu vermitteln. Dieses Bild kehrte bei allen Operationen, bei denen der Wundverschluß durch Nylon erfolgte, immer wieder, gleichgültig, ob es sich um Laparatomiewunden — etwa nach Cholecystektomie oder Gastroenterostomie — oder um Hautwunden handelte, von denen ein kosmetisch besonders günstiges Resultat erwartet wird, wie nach Strumektomie, nach Gesichtswunden, nach Phrenikusexhairen oder Drüsenexzisionen am Hals usw.

a) Beobachtungen während der Operation.

Nylon verändert auch im nassen Zustand sein Gefüge nicht. Seine Zugfestigkeit bleibt — sogar nach mehrmaligem und längerem Sterilisieren — nahezu unverändert, so daß selbst bei Nähten, welche unter großer Spannung stehen, ohne Nachteil dünnere Fäden benutzt werden können, als bei Catgut oder Seide.

Bei jeder Naht wird durch die Nadel ein Stichkanal im Gewebe gebildet, der von dem durch das Nadelohr geschlungenen Faden noch erweitert wird. Die Bildung des Stichkanals und seine Erweiterung hat zur Folge, daß aus dem Zellverband des Gewebes Zellen herausgerissen, zerquetscht und beschädigt werden. Diese absterbenden Zellgruppen begünstigen eine verstärkte Leukozytenreaktion und bilden andererseits einen günstigen Nährboden für etwa in die Wunde eingeschleppte Keime. Die Größe und Beschaffenheit des Stichkanals ist deshalb für das Auftreten einer

Entzündung in unmittelbarer Umgebung der Naht nicht neben-sächlich. Bei Nylon erlaubt der Gebrauch von dünnen Fadenstärken auch die Verwendung feinerer Nadeln. Der Stichkanal wird auf diese Weise so eng wie möglich gestaltet und der glatte, elastische Nylonfaden, der sich am Nadelohr in enger Schlinge an die Nadel anschmiegt, wird das umgebende Gewebe weniger verletzen, als die durch die unumgänglichen Manipulationen rauh gewordenen Seidenfäden oder der bedeutend steifere Catgutfaden.

Mikroskopische Untersuchungen an Seiden- und Nylonfäden vor und nach dem Gebrauch als Nahtmaterial bestätigen diese Beobachtungen. Während der Nylonfaden verschiedener Dicke — gezwirnt oder geklöppelt — eine glatte Oberfläche besitzt, selbst, nachdem er eingefädelt und durch das Gewebe gezogen wurde oder 11 Tage als Hautnaht im Gewebe gelegen hat, offenbaren sich bereits am unbenutzten Seidenfaden sehr viele kleine, haarähnliche Fortsätze, welche als kleine Vorsprünge über die Fadenoberfläche ragen und bei „gezogenen“ Fäden (die 7 bis 11 Tage intrakutan als Hautnaht gelegen haben) an Zahl und Größe zugenommen haben. Untersucht man einen durch Gewebe gezogenen Seidenfaden besonders gründlich, kann man häufig noch Zelltrümmer an den Faserhärrchen haften sehen.

Die leidige Tendenz des Catguts im Moment des Knotenschlingens zu reißen, fehlt dem Nylonfaden dank seiner konstanten Fadenbeschaffenheit, Zugfestigkeit und Elastizität völlig. Für diese bessere Haltbarkeit des Nylonfadens ist sicher die Elastizität oder der Grad der Ausdehnung einer Naht, bevor sie reißt, noch wichtiger, als die Zugfestigkeit. Angenommen, eine Naht hat die Zugfestigkeit von 4 kg, so wird sie reißen, wenn dieser Zug auf sie ausgeübt wird; gleichwohl wird sie sich aber, ehe sie reißt, bis zum höchsten Grade ausdehnen. Beim Knüpfen eines Knotens übt der Chirurg im Moment des Zusammenziehens einen gewissen Zug aus. Wenn der Zug größer ist als die Zugfestigkeit des Fadens, wird der Faden reißen, nachdem er sich weitestmöglich gedehnt hat. Auf diese Weise wirkt die Elastizität eines Fadens als Sicherheitsventil, indem sie das Zerreißen hintan hält. Je größer der Grad der Dehnungsfähigkeit, umso geringer die Wahrscheinlichkeit, daß der Faden reißt.

Versuche über die Elastizität (Grad der Dehnungsfähigkeit vor dem Reißen) bei Nylon und Seide in den für chirurgische Zwecke gebräuchlichsten Fadendurchmessern zeigten den deutlichen Elastizitätsüberschuß Nylons gegenüber Seide, der seine Knotenfestigkeit erklärt.

Fadendurchmesser	Dehnfähigkeit in %		Differenz in %
	Nylon	Seide	
0,15 mm	25	19	32
0,35 mm	19	15	27
0,58 mm	24	16	50
0,71 mm	30	24	25
0,83 mm	28	24	17

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Haltbarkeit der Knoten ist die konstante Gleichmäßigkeit des Nylonfadens. Hierin steht derselbe in deutlichem Gegensatz zu Catgut, bei dem schon bei oberflächlicher Betrachtung die Ungleichheit des Fadens auffällt. Jedem Chirurgen ist die große Variabilität in der Zugfestigkeit bei Catgut bekannt, durch die es immer wieder zum Zerreißen von stark gestrafften Nähten kommt. Die Festigkeit Catguts und auch der Seide wird während der Operation durch mechanische Schädigungen mit Nadelhaltern und Klemmen — besonders bei fortlaufender Naht — nicht unerheblich beeinträchtigt. Auch Nylon ist — unter gleichen Bedingungen — diesen Schädigungen ausgesetzt, die jedoch infolge seiner günstigen Fadenstruktur nahezu ohne Effekt für seine Festigkeit sind.

Immer wieder konnte beobachtet werden, daß Nylonfäden, selbst bei geringem Durchmesser, die Wundränder gut zusammenhalten, ohne in die Gewebe einzuschneiden. Auch weniger resistente Gewebe, wie Fett- oder Lebergewebe, konnten dem Zug widerstehen. Dies ist ohne weiteres verständlich, wenn man sich vorstellt, daß das Durchschneiden (nach B a b c o c k) auf der Sägewirkung rauher Fäden beruht.

Erwähnenswert ist ferner die leichte Handhabung Nylons; der abgeschnittene Faden franst weniger aus als Seide und erleichtert dadurch das Einfädeln.

Nachteilig erweist sich jedoch beim Schlingen der Knoten die außerordentliche Glätte vor allem des monofilen Nylonfadens. Aber auch die in unserer Versuchsreihe verwandten geklöppten Fäden ergeben bei der Knotung gewisse Schwierigkeiten, die von einigen Operateuren mehr, von anderen weniger störend empfunden werden. Infolge des glatten Oberflächenreliefs, das auch der geklöppte Faden auf Grund seiner Einzelfaserstruktur aufweist, hält ein gewöhnlicher Doppelknoten bei einiger Beanspruchung oft nicht. Er hat die Neigung sich zu lockern und es ist deshalb erforderlich, die Knüpftechnik dahingehend zu ändern, daß man einen dreifachen Knoten macht und zwar nicht in Form eines

chirurgischen, sondern eines Schifferknotens (J e k e r, S c h w a i g e r, L i n d n e r). Der Umstand, daß durch diesen dreifachen Knoten etwas mehr Material in der Wunde bleibt, spielt keine Rolle, da ja der Nylonfaden bei gleicher Reißfestigkeit entsprechend dünner ist als Seiden- oder Catgutfäden.

Bei Nähten, die unter starker Spannung stehen, konnte beobachtet werden, daß auch die modifizierte Knüpfttechnik eines dreifachen Knotens eine Lockerung desselben nicht ausschließt und damit der Wert der Naht in Frage gestellt ist, obwohl der Faden an sich dem Zuge durchaus standhält.

Es wäre deshalb zu erproben, ob eine gröbere Klöppelung oder Zwirnung des Nylonfadens, die eine Vergröberung des Oberflächenreliefs mit sich bringt, die Knotensicherheit steigert und damit die jetzt noch notwendige schwierigere Knüpfttechnik überflüssig macht.

b) Postoperative Betrachtungen.

Sämtliche mit Nylon verschlossenen Operationswunden heilten ohne Wundstörungen primär. Die postoperative Phase war charakterisiert durch einen milden Heilungsverlauf mit niedrigen Temperaturen und gutem Allgemeinbefinden der Patienten.

In keinem Falle kam es zu irgendeinem Zeichen von Gewebsreaktion. Selbst bei Operationen, wo zahlreiche Ligaturen die Versenkung größerer Mengen von Fadenmaterial notwendig machten, wurden weder Wundsekretionen und Serombildungen, noch Fadenfisteln oder Fadeneiterungen, wie sie bei Seide und Zwirn immer wieder vorkommen, beobachtet.

Sehr eindrucksvoll war die völlige Reaktions- und Reizlosigkeit aller Hautnähte. Entzündliche Reaktionen an den Stichkanälen mit Rötung und Eiterung fehlten gänzlich. Selbst nach Ablatio Mammae sahen wir eine wirklich tadellose Nahtlinie. Obwohl auf der Höhe des Thorax die Hautlappen unter bedeutender Spannung stehen, zudem noch ihres subkutanen Fettes beraubt und recht schlecht ernährt sind, führten diese ungünstigen Bedingungen der Wundheilung doch zu keiner Stichkanalreizung oder gar zu einer zirkumskripten Hautnekrose, wie wir sie beim Gebrauch von Zwirn nicht gerade selten sehen. Das spricht zweifellos für die gute Körperverträglichkeit des nahezu indifferenten Materials, das sich im Gewebe kaum verändert. Ihm fehlt die bei Catgut so stark ausgeprägte Quellungs tendenz, die zur Verkürzung des Fadens führt und damit zu Drucknekrosen Anlaß gibt.

Mit Nylon steht uns ein Nahtmaterial zur Verfügung, das primär steril ist. Durch die Methode der Fadenherstellung (siehe unter Nylon-Technologie) ist es in seinen inneren Schichten völlig keimfrei. Die äußere Keimfreiheit läßt sich schnell und leicht erreichen. Mit einer 10 Minuten langen Dampfsterilisation im Autoklaven, die beliebig oft wiederholt werden kann, ohne daß die mechanischen Qualitäten des Fadens wesentlich verändert werden, wird bereits eine einwandfreie Keimfreiheit erzielt. Im Gegensatz zu Seide kann Nylon — ohne Schaden zu leiden — in 1 bis 3 %iger Sodalösung gekocht werden. Als weitere Sterilisationsmittel können Zephirol und Sublimat verwandt werden, während alle Desinfektionsmittel auf der Basis von Phenolen und Kresolen unbedingt zu vermeiden sind, da sie den Faden bis zur Auflösung verändern können (siehe Nylon: Chemische Eigenschaften). Die Aufbewahrung geschieht am vorteilhaftesten in 96 % igem Alkohol.

Die Sekundärinfektion des Fadens (während der Operation beim Einfädeln und Knoten) kann unter streng aseptischen Kautelen und dank der glatten Fadenoberfläche, die den Keimen nur wenig Haftmöglichkeit gibt, weitestgehend vermieden werden.

Die vor allem beim Catgut gefürchtete, aber auch bei Seide auftretende Tertiärinfektion ist für Nylon ebenfalls irrelevant. Der Faden quillt im Gewebe kaum, ist wenig imbibierbar, fasert nicht auf und bietet so den fast immer in der Wunde vorhandenen Bakterien und Keimen weder Ansiedlungsmöglichkeit noch Nährboden.

Wenn wir am Schluß unserer Betrachtungen auf die einleitend aufgestellten acht Forderungen für ein ideales Nahtmaterial zurückkommen, so können wir in Beantwortung der Frage: Inwieweit entspricht Nylon den chirurgischen Ansprüchen? folgendes sagen:

1. Nylon zeigt tierexperimentell und nach klinischen Beobachtungen eine außerordentlich geringe Gewebsreaktion.
2. In seiner Zug- und Knüpffestigkeit übertrifft es (in allen Durchmesser) die in der Chirurgie gebräuchlichen nichtmetallischen Nahtfäden.
3. Mit seiner geringen Wasseraufnahmefähigkeit zeigt es weniger Quellungstendenz als Seide, Zwirn und Catgut.
4. Monofiles Nylon hat mit seiner Zylinderform eine vollkommen glatte Oberfläche. Jedoch auch multifiles Nylon — gewirnt

und geklöpelt — besitzt, wie mikroskopische Untersuchungen bewiesen, im Gegensatz zu Seide, ein glattes Oberflächenrelief.

5. Mit einer wahren Elastizität von 8 % steht Nylon auch in dieser Hinsicht an der Spitze der Textilfaserreihe.
6. Das Herstellungsverfahren der synthetischen Nylonfaser garantiert eine konstante Gleichmäßigkeit des Fadens.
7. Bei wiederholter Dampfsterilisation bleiben die mechanischen Eigenschaften des Nylonfadens nahezu unverändert.
8. Die Handhabung Nylons ist leicht, der abgeschnittene Faden raspelt sich nicht auf und läßt sich daher gut einfädeln. Die Knotensicherheit ist auf Grund der sehr glatten Fadenoberfläche oft nicht ausreichend. Die Knoten haben die Tendenz sich leichter zu lockern und zwingen deshalb zu einer besonderen Knüpftechnik (dreifache Knoten).

Nylon entspricht somit nahezu allen an ein ideales Nahtmaterial gestellten Forderungen. Der Hauptvorteil gegenüber Catgut ist der der nichtresorbierbaren Stoffe allgemein, nämlich geringere Gewebsreaktion und primäre Keimfreiheit, während es der Seide überlegen ist wegen seiner physikalisch-chemischen Eigenschaften und — last, not least — wegen seiner weniger ausgesprochenen Gewebsreizung. Die mangelnde Knotensicherheit kann durch eine entsprechende Knüpftechnik weitgehend eingeschränkt, jedoch nicht gänzlich behoben werden.

Zusammenfassung.

Nach kurzer Erörterung der historischen Grundlagen der Nahtmaterialfrage folgt eine kritische Betrachtung über die Vor- und Nachteile von Catgut und Seide. Einem eingehenden Bericht über Natur, Herstellung und Eigenschaften der synthetischen Nylonfaser schließen sich die tierexperimentellen und klinischen Beobachtungen bei Verwendung derselben als chirurgisches Naht- und Unterbindungsmaterial an, die zu dem Ergebnis führen, daß Nylon in seiner Gewebsreaktion und seinen mechanischen Eigenschaften Catgut und Seide deutlich überlegen ist. Der überaus glatte Faden gefährdet jedoch häufiger die Knotenfestigkeit und macht eine besondere Knüpftechnik mit dreifachem Knoten notwendig.

Trotz der vielen Vorzüge gegenüber den bis jetzt gebräuchlichen nichtresorbierbaren Nahtstoffen Seide, Zwirn und Silkwormgut ist Nylon — in Verbindung mit den deutschen Polyamidfasern Supramid (Fa. Braun) und Perlon — erst dann in der Lage, die Nahtmaterialfrage ihrer befriedigenden Lösung näherzubringen, wenn es der Industrie gelingt, einen knüpffähigeren und knotenfesteren Faden zu liefern, ohne die glatte Oberfläche des Fadens gar zu sehr zu beeinträchtigen.

Dem Leiter der III. Chirurgischen Universitäts-Klinik Berlin,
Herrn Prof. Dr. E. G o h r b a n d t, der die Anregung zu dieser
Arbeit gab, spreche ich für die freundliche Unterstützung und die
Überlassung des Krankenmaterials meinen ergebensten Dank aus.

Literaturverzeichnis.

- Anschütz, Willi: Bruns Beitr. z. klin. Chir. Heft 3.
 Aries, L. J.: Surg. 1941, 73, 51—60.
 Baliut, Rezso: Gewebsproliferation u. Säurebasengleichgewicht, 1930.
 Bellas, J. E.: Ann. Surg. 1940, 112, 112—121.
 Bellas, J. E.: Arch. Surg. 1940 41, 1414—1425.
 Bergmann: Klin. Jahrbuch 1889, 1, 147.
 Bertarelli und Bocchia: Zentralbl. f. Bakt. 1906, 6. 620.
 Bowler, John: Surg. 1942, 74, 649—654.
 Braun, Bernd: Zentralbl. f. Chir. 1940, 24, 1090.
 Brunn, W. v.: Kurze Geschichte d. Chir. 1928.
 Burke, J.: Amer. J. Surg. 1940, 49, 303—306.
 Burmann, M. S.: Amer. J. Surg. 1943, 42, 124—125.
 Christ, Andreas: Dt. Ztschr. f. Chir. 1930, 226, 13—16.
 Christensen: Zentralorg. f. Chir. 1941, 16. Nov.
 Christensen, H. M.: Med. Inaug.-Diss. Kopenhagen 1944.
 Cibis, Paul: Klin. Monatsbl. f. Augenh. 1947, 112, 75—79.
 Cibis, Paul: Klin. Monatsbl. f. Augenh. 1947, 112, 4.
 Collins, C. U.: Tr. West Surg. Ass. 1938, 316—329.
 Credé: Zentralbl. f. Chir. 1908, 35, 249.
 Demmer, F.: Zentralbl. f. Chir. 1939, 2, 122.
 Derbyshire, R. C.: Surg., Gynec. & Obst. 1947, 84, 31—35.
 Dictionary, The Condensed Chemical, Third Edition, 1942, „Nylon“.
 Döderlein, A.: Münch. med. Wschr. 1890, 37, 4, 57.
 Dubois, J. H.: Plastics, 138—140.
 Dubois, J. H.: Plastics Mold Engineering, 1947, 15.
 Dunphy, J. E.: Surg. 1939, 69, 441—445.
 Elkin, D. C.: Ann. Surg. 1940, 112, 280—283.
 Encyclopedia Americana, 26, 477.
 Erhardt, Erwin: Sammlg. klin. Vortr. Nr. 165/66.
 Eril, Johann v.: Regeneration, ihre Anwendung in der Chirurgie. 1939.
 Fänburg, S. J.: J. Amer. Med. Ass. 1940, 115, 354—355.
 Farris, J. Matthews: Ann. Surg. 1941, 114, 159—160.
 Filips: Med. Rec. 1939, 150, 379—383.
 Foote, M. N.: Amer. J. Surg. 1946, 72, 540—544.
 Frugoni, P.: Arch. ital. Chir. 1936, 43, 4.
 Fürle, Joachim: Zentralbl. f. Chir. 1924, 11a, 478, 482.
 Gäth, R.: Kunststoffe, 1949, 1, 1—4.
 Gilberti, Pasquale: Policl. Sez. Chir. 1939, 46, 55—572.
 Gohrbandt, E.: Die Nahtchirurgie in Kirchner-Nordmann „Die Chirurgie“.
 Goljanitzki, A.: Zentralbl. f. Chir. 1928, 16, 975.
 Greifenberger: Dt. Zeitschr. f. Chir. 1882, 285, 11—16.
 Haegler, C. S.: Arch. f. klin. Chir. 1901, 64, 375—61.
 Haidenhain: Zentralbl. f. Chir. 1899, 8, 225.
 Halsted, William Steward: J. Amer. Med. Ass. 1913, 60, 1119.
 Halsted, William Steward: Surgical Papers, 1924, 29—35.
 Horine, Cyrus: Ann. Surg. 1940, 112, 471—479.
 Houwink, R.: Grundriß der Kunststofftechnologie, 1944.
 Howes, E. L.: Surg., Gynec. & Obst. 1933, 57, 309—317.
 Howes, E. L.: Amer. J. Surg. 1940, 48, 548—552.
 Howes, E. L.: Surg. Gynec. & Obst. 1941, 73, 319.

- Hühne, Thilo: Zentralbl. f. Chir. 1931, 46, 2866—2869.
 Huzella, Th.: Arch. klin. Chir. 1937, 188, 411—425.
 Ingianni, V.: Amer. J. Surg. 1945, 69, 137.
 Jeker, L.: Schw. Wschr. 1943, 32, 973—975.
 Jenkins, H. P.: Surg. Gynec. & Obst. 1937, 64, 648—652.
 Karewski: Berl. klin. Wschr. 1906, 43, 661.
 Kesten, M.: Zentralbl. f. Chir. 1939, 4, 204.
 Knorr: Arch. f. Hyg. 1930, 105, 355.
 Konrich, F., und Zeibler, J.: Arch. f. klin. Chir. 1933, 177, 742.
 Kühn, Franz: Das Steril-Catgut, 1912.
 Lahey, F. H.: Ann. Surg. 1928, 87.
 Langston, H. T.: Ann. Surg. 1941, 113, 1117—1118.
 Large, O. P.: Amer. J. Surg. 1943, 60, 415—423.
 Lieb: Dt. med. Wschr. 1934, 60, 520.
 Lindner, F., und Schwaiger, M.: Chirurg 1947, 15, 675—680.
 Linhart: Zentralbl. f. Chir. 1934, 61, 2890.
 Lupton, C. H.: Amer. J. Surg. 1939, 45, 309—315.
 Lupton, C. H.: Amer. J. Surg. 1942, 57, 122—137.
 Mark, Hermann: Allgem. Grundlagen d. hochpolymeren Chemie, 1940.
 Marchesani: Ber. a. d. Versammlg. d. dt. opht. Gesellscht. 1932, 48, 233—238.
 Matsuchita: Arch. f. Hyg. 1902, 43, 267.
 Meade, William: J. Amer. Med. Ass. 1939, 113, 2230—2231.
 Meade, William, & Ochsner, A.: Surg. 1940, 7, 485—514.
 Mehnert, Ilse-Hanna: Dt. Ztschr. f. Chir. 224, 281.
 Melick, D. W.: Ann. Surg. 1942, 115, 475—476.
 Minervini: Dt. Ztschr. f. Chir. 1899, 53, 1.
 Mori, T.: Bull. Nav. Med. Ass. 28, 5, 30—31.
 Narat, J. K.: Surg., Gynec. & Obst. 1941, 73, 819—821.
 Nichols, H. M.: West. J. Surg. 1940, 48, 42—46.
 Ott, Emil: Cellulose & Cellulose Derivatives, 1017.
 Pavrowski, Josef: Zentralorg. f. d. ges. Chir. 1942, 106, 399.
 Puestow, C. B.: Surg. Clin. North Amer. 1940, 20, 241—247.
 Reil, Hermann: Zentralbl. f. Chir. 1940, 10, 436—443.
 Renaissance, The of Silk in Surgery: J. A. M. A. 1939, 113, 1417.
 Robins: J. Amer. Med. Ass. 135, 1940; 767.
 Schmidt-Burbach: Dt. med. Wschr. 1942, 1, 381—382.
 Schwarzmann: Zentralbl. f. Chir. 1939, 5, 269.
 Shambaugh, Phillip: Surg. Gynec. & Obst. 1937, 64, 765—771.
 Shambaugh, Phillip: Surg. 1940, 7, 9—23.
 Simon, L.: Chirurg 1947, 15, 673—675.
 Simonds: New Plastics, 117—135.
 Simonds & Ellis: Handbook of Plastics. 323—324 und 368—373.
 Storp und Abel: Zentralbl. f. Chir. 1927, 29, 1795—1799.
 Straith, C. L.: Amer. Surg. 1947, 325, 329—330.
 Thomalla: Berl. klin. Wschr. 1898, 35, 334.
 Thompson, M.: Amer. J. Surg. 1935, 27, 302—310.
 Thomson, H.: Zentralbl. f. Gyn. 1889, 24, 409.
 Weichhardt: Chir. 1930, 2, 289.
 Weil, B. H.: Plastics Horizons, 113—115.
 Whipple, A. O.: Ann. Surg. 1933, 98, 662—671.
 Whipple, A. O.: Surg. 1939, 69, 109—110.
 Wolfe, Bernard: Plastics, 152—160.

Lebenslauf.

Am 22. Juni 1924 wurde ich in Berlin als Tochter des Ingenieurs Fritz Schirmer und seiner Ehefrau Caroline geb. Hartmann geboren. Nach im Elternhaus verlebter Kindheit besuchte ich 4 Jahre die Grundschule und 8 Jahre die Mozart-Oberschule für Mädchen in Berlin-Charlottenburg, die ich 1942 nach Ablegung der Reifepfprüfung verließ. Mit dem Sommersemester 1943 begann ich mein Studium an der damaligen Friedrich-Wilhelms-Universität in Berlin — zunächst in der Naturwissenschaftlichen Fakultät —, das ich 1944, nach 3 Semestern, unterbrechen mußte. 1946 konnte ich als Studentin der Medizinischen Fakultät der Universität Berlin meine Studien wieder aufnehmen, bestand 1947 die ärztliche Vorprüfung und absolvierte auch die klinischen Semester des Medizinstudiums an der nunmehrigen Humboldt-Universität Berlin. Staatsexamen hierselbst nach dem Sommersemester 1950.

